ÇANKIRI KARATEKİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAVAALANI PİSTLERİNDE TAŞ MASTİK ASFALT KARIŞIMLARININ DAYANIMA ETKİSİ

Ahmet UMUTLU

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ÇANKIRI
2022

Her hakkı saklıdır

TEZ ONAYI

Ahmet UMUTLU tarafından hazırlanan **"Havaalanı Pistlerinde Taş Mastik Asfalt Karışımlarının Dayanıma Etkisi"** adlı tez çalışması 06/07/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Danışman **:** Dr. Öğr. Üyesi Başak VARLİ BİNGÖL

Jüri Üyeleri **:**

Başkan **:** Dr. Öğr. Üyesi Başak VARLİ BİNGÖL
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Çankırı Karatekin Üniversitesi

Üye **:** Prof. Dr. Ender SARIFAKIOĞLU
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Çankırı Karatekin Üniversitesi

Üye **:** Dr. Öğr. Üyesi Vesile Hatun AKANSEL
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. İbrahim ÇİFTÇİ

Enstitü Müdürü

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Çankırı Karatekin Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğine göre hazırlamış olduğum "**Havaalanı Pistlerinde Taş Mastik Asfalt Karışımlarının Dayanıma Etkisi**" konulu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı, tezin içerdiği yenilik ve sonuçları başka bir yerden almadığımı, tezde kullandığım eserleri usulüne göre kaynak olarak gösterdiğimi, tezin Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nden başka bir bilim kuruluna akademik amaç ve unvan almak amacıyla vermediğimi ve bu çalışmanın Çankırı Karatekin Üniversitesi tarafından kullanılan "Bilimsel İntihal Tespit Programı"yla tarandığını, "intihal içermediğini" beyan ederim. Çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması halinde ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara razı olduğumu bildiririm. Çankırı Karatekin Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca gereğinin yapılmasını arz ederim (06/07/2022).

Ahmet UMUTLU

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

HAVAALANI PİSTLERİNDE TAŞ MASTİK ASFALT KARIŞIMLARININ DAYANIMA ETKİSİ

Ahmet UMUTLU

Çankırı Karatekin Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Başak VARLİ BİNGÖL

Bu çalışmada; havaalanı pistlerinde aşınma tabakası olarak kullanılan taş mastik asfaltın dayanıma etkisi Marshall Yöntemi ile belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışmada kullanılan gradasyonlar, Karayolları Teknik Şartnamesinde belirtilen limitler dahilinde belirlenmiştir. Yapılan çalışmada şartname alt limiti, üst limiti, limitlerin ortalamaları, aynı gradasyonda farklı kayaç türleri, farklı kayaç türlerinin karışım gardasyonları hazırlanarak Marshall yöntemi ile stabilite, akma, hava boşluğu, agregalar arası boşluk, bitümle dolu boşluk oranı, briket yoğunlukları hesaplanarak karşılaştırmalar yapılmıştır. Ayrıca agrega ve bitüm temel deneyleri yapılarak özellikleri belirlenmiştir.

Çalışmada ana malzeme olarak bazalt kullanılmış, karışım gradasyonlarında filler malzemesi olarak kalker kullanılmıştır. Yapılan deneylerde, bitümlü sıcak karışım aşınma tabakası için belirlenen stabilite değerlerine bazı karışımlarda ulaşıldığı, bazalt malzemenin kalker malzemesine göre daha iyi sonuç verdiği, dane büyüklüğü dağılımında iri malzemenin ince malzemeye nazaran daha düşük sonuçlar verdiği, Marshall tokmağı ile hazırlanan briketlerde kalker malzemesinin bazalt malzemesine göre daha fazla kırılmaların olduğu bu durumun gradasyonu değiştirdiği görülmüştür. Maksimum dane boyutu ve nominal maksimum dane boyutu aynı olan ve şartname limitleri ortalaması alınarak hazırlanan yoğun dereceli asfalt karışımı, taş mastik asfalta göre stabilite ve akma değerleri olarak daha iyi performans göstermiştir.

2022, 89 sayfa

ANAHTAR KELİMELER: Taş mastik asfalt, Marshall dizaynı, Aşınma takası, Havaalanı pistleri, Gradasyon

ABSTRACT

Master of Science Thesis

RESISTANCE EFFECT OF STONE MASTIC ASPHALT MIXTURE ON AIRPORT RUNWAYS

Ahmet UMUTLU

Çankırı Karatekin University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

Advisor: Asst. Prof. Dr. Başak VARLİ BİNGÖL

In this study; the effect of stone mastic asphalt used as wearing surface on airport runways on strength was tried to be determined by Marshall Method. The gradations used in the study were determined within the limits specified in the Karayolları Teknik Şartnamesi (Highway Technical Specifications). In the study, the lower limit of the specification, the upper limit, the averages of the limits, different rock types in the same gradation, mixture gradations of different rock types were prepared and comparisons were made by calculating stability, yielding, air gap, inter-aggregate voids, bitumen-filled void ratio, briquette densities by Marshall Method. In addition, aggregate and bitumen foundation tests were performed and their properties were determined.

Basalt was used as the main material in the study, and limestone was used as filler material in the mixture gradations. In the experiments, it was observed that the stability values determined for the bituminous hot mix wearing surface were reached in some mixtures, the basalt material gave better results than the limestone material, the coarse material gave lower results in the grain size distribution than the fine material, in the briquettes prepared with Marshall rammer, the limestone material had more breaks than the basalt material and that this situation changed the gradation. Dense grade asphalt mixture, which has the same maximum grain size and nominal maximum grain size and was prepared by taking the average of the specification limits, showed better performance in terms of stability and yield than stone mastic asphalt.

2022, 89 pages

Keywords: Stone mastic asphalt, Marshall design, wearing surface, Airport runways, Gradation

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Çalışmalarımı tüm bilgi ve deneyimleri ışığında yönlendiren, araştırmanın tüm süreçlerinde maddi manevi desteğini sunan değerli tez danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Başak VARLİ BİNGÖL 'e teşekkürlerimi ve minnetlerimi sunarım.

Çalışmamın temelini oluşturan deneylerde her türlü fedakârlığı yapan Sayın Abdussamed AKYÜZ 'e, tüm laboratuvar imkânlarını seferber eden UAB-AYGM Araştırma Dairesi Başkanlığına, tecrübesi ve bilgisiyle farklı bakış açısı kazandıran Sayın Nedim Savaş TUTAN 'a, malzeme temininde verdiği desteklerden ötürü Sayın Süha ARAY ve Oğuz YILMAZ' a teşekkürlerimi sunarım.

Ahmet UMUTLU
Çankırı, Temmuz 2022

İÇİNDEKİLER

ÖZET i

ABSTRACT ii

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR iii

İÇİNDEKİLER iv

SİMGELER DİZİNİ vi

KISALTMALAR DİZİNİ vii

ŞEKİLLER DİZİNİ viii

ÇİZELGELER DİZİNİ x

1. GİRİŞ 1

1.1 Havalimanı Pist Yapısı 2

1.1.1 Temel tabakaları 3

1.1.2 Esnek pist kaplama tabakaları 4

1.2 Esnek Kaplamalı Pistlerde Oluşan Deformasyonlar 5

1.3 Deformasyon Derecelendirmesi 8

1.4 Çalışma Kapsamı 9

2. LİTERATÜR ÖZETİ 10

3. BİTÜMLÜ SICAK KARIŞIMLAR 19

3.1 Bitümlü Sıcak Karışım Türleri 19

3.1.1 Yoğun dereceli asfalt karışımları (Asfalt betonu) 19

3.1.2 Açık dereceli asfalt karışımları 19

3.1.3 Taş mastik asfalt karışımları 20

3.2 Bitümlü Karışım Dizaynları 24

3.2.1 Hubbard-Field yöntemi 25

3.2.2 Hveem mixture tasarım yöntemi 26

3.2.3 Superpave tasarım yöntemi 26

3.2.4 Marshall tasarım yöntemi 27

3.3 Bitümlü Karışımlarda Hacimsel Kavramların Tanımlanması 29

3.3.1 Agrega karışımlarının özgül ağırlığı; 29

3.3.2 Bitümlü karışımın özgül ağırlığı 32

3.4 Taş Mastik Asfalt Karışım Malzemeleri Ve Deneyleri 34

3.4.1 Kaba agrega ve özellikleri 35

3.4.2 İnce agrega ve özellikleri **35**
3.4.3 Mineral agrega (filler) ve özellikleri **36**
3.4.4 Fiber stabilizatör ve özellikleri **36**
3.4.5 Bitümlü bağlayıcılar ve özellikleri **37**
3.4.6 Agrega deneyleri **38**
3.4.7 Bitüm deneyleri **40**
4. MATERYAL VE METOT **43**
4.1 Agregalar **43**
4.2 Agrega Gradasyon Tasarımları **51**
4.2.1 Dizayn-1 gradasyonu **53**
4.2.2 Dizayn-2 gradasyonu **54**
4.2.3 Dizayn-3 gradasyonu **55**
4.2.4 Dizayn-4 gradasyonu **56**
4.2.5 Dizayn-5 gradasyonu **57**
4.2.6 Dizayn-6 gradasyonu **58**
4.2.7 Dizayn-7 gradasyonu **59**
4.3 Asfalt Karışım Tasarımı **60**
4.4 Asfalt Karışımın Hazırlanması **61**
4.5 Karışım Briketlerine Yapılan Testler **64**
5. BULGULAR VE TARTIŞMA **70**
6. SONUÇ VE ÖNERİLER **75**
KAYNAKLAR **77**
EKLER **81**
ÖZGEÇMİŞ **89**

SİMGELER DİZİNİ

Dp	Pratik birim hacim ağırlık
Dt	Teorik birim hacim ağırlık
F	Akma
P_{BA}	Bitüm emme yüzdesi
S	Stabilite
Vh	Hava boşluğu
VMA	Agregalar arası boşluk
VFA	Bitümle dolu boşluk oranı
Wa	Bitüm yüzdesi

KISALTMALAR DİZİNİ

AASHTO	American association of state highway and transportation officials
AB	Asfalt betonu
AU	Australian standard
AYGM	Altyapı yatırımları genel müdürlüğü
B	Bitüm (asfalt çimentosu)
BSK	Bitümlü sıcak karışım
EAPA	European asphalt pavement association
EN	European standard
FAA	Federal aviation administration
FDOT	Florida department of transportation
FHWA	Federal highway administration
KGM	Karayolları genel müdürlüğü
KTŞ	Karayolu teknik şartnamesi
NAPA	The national asphalt pavement association
PMB	Polimer modifiye bitüm
SMA	Stone mastic asphalt
TMA	Taş mastik asfalt
TS	Türk standardı
UAB	Ulaştırma ve altyapı bakanlığı
UFGS	Unified facilities guide specifications
UK	United kingdom

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 Klasik pist yapısı 2
Şekil 1.2 Teker yükü altında basınç dağılımı 4
Şekil 3.1 Taş mastik asfalt yapısı 23
Şekil 3.2 Agrega gradasyonuna göre elde edilen karışım sınıflandırması 24
Şekil 3.3 Zahiri özgül ağırlığa esas agrega hacmi 30
Şekil 3.4 Efektif özgül ağırlığa esas agrega hacmi 30
Şekil 3.5 Hacim özgül ağırlığa esas agrega hacmi 31
Şekil 3.6 Bitümlü karışım yapısı 33
Şekil 3.7 Bitümlü karışım şematik gösterimi 34
Şekil 3.8 Bitüm seçim tablosu 38
Şekil 4.1 Karışım agregaları 43
Şekil 4.2 Derecelendirilmiş agregalar 44
Şekil 4.3 Piknometre özgül ağırlık deneyi 45
Şekil 4.4 İnce ve kaba malzemede doygun kuru yüzey durumu 45
Şekil 4.5 Los Angeles test cihazı 46
Şekil 4.6 Hava tesirlerine karşı mukavemet cihazı 47
Şekil 4.7 Mikro Deval test cihazı 47
Şekil 4.8 Metilen Mavisi deneyi 48
Şekil 4.9 Fiberin parçalanması 50
Şekil 4.10 Çalışma gradasyonları 51
Şekil 4.11 KTŞ TMA Tip-1 min ve max şartname limitleri grafiği 52
Şekil 4.12 Dizayn-I gradasyon grafiği 53
Şekil 4.13 Dizayn-2 gradasyon grafiği 54
Şekil 4.14 Dizayn-3 gradasyon grafiği 55
Şekil 4.15 Dizayn-4 gradasyon grafiği 56
Şekil 4.16 Dizayn-5 gradasyon grafiği 57
Şekil 4.17 Dizayn-6 gradasyon grafiği 58
Şekil 4.18 Dizayn-7 gradasyon grafiği 59
Şekil 4.19 Viatop premium fiber 60
Şekil 4.20 Karışım agregaları kurutulması 61
Şekil 4.21 Mikser 62
Şekil 4.22 Marshall kalıpları 62
Şekil 4.23 (a), (b), (c), (d) Marshall tokmağı 63
Şekil 4.24 Soğumaya bırakılan briketler 64
Şekil 4.25 Su içerisinde briketlerin tartılması 65
Şekil 4.26 Ekstraksiyon deneyi 66
Şekil 4.27 Marshall stabilite cihazı ve kırımı yapılmış briketler 67
Şekil 4.28 Su banyosunda bekletilen briketler 67
Şekil 4.29 Marshall stabilite ve akma grafikleri 69

Şekil 5.1 Ekstraksiyon sonucu gradasyon 74

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1 Bazı Avrupa ülkeleri 2020 yılı taş mastik kullanım yüzdesi (eapa.org).....21
Çizelge 3.2 Kaba agrega özellikleri 35
Çizelge 3.3 İnce agrega özellikleri.....36
Çizelge 3.4 Selülozik elyaf özellikleri 37
Çizelge 3.5 Mineral elyaf özellikleri.....37
Çizelge 4.1 Özgül ağırlık deney sonuçları 46
Çizelge 4.2 Agrega deney sonuçları.....48
Çizelge 4.3 Bitümlü bağlayıcı deney sonuçları.....49
Çizelge 4.4 Schellenberger bitüm süzülme deneyi sonuçları.....50
Çizelge 4.5 KTŞ TMA Tip Min ve Max Şartname Limitleri 52
Çizelge 4.6 Dizayn-1 Elek analizi.....53
Çizelge 4.7 Dizayn-2 Elek analizi.....54
Çizelge 4.8 Dizayn-3 Elek analizi.....55
Çizelge 4.9 Dizayn-4 Elek analizi.....56
Çizelge 4.10 Dizayn-5 Elek analizi.....57
Çizelge 4.11 Dizayn-6 Elek analizi.....58
Çizelge 4.12 Dizayn-7 Elek analizi.....59
Çizelge 4.13 Marshall stabilite düzeltme katsayıları 68
Çizelge 5.1 Gradasyon-1 Marshall performans sonuçları.....70
Çizelge 5.2 Gradasyon-2 marshall performans sonuçları 71
Çizelge 5.3 Gradasyon-3 marshall performans sonuçları 71
Çizelge 5.4 Gradasyon-4/5 marshall performans sonuçları 72
Çizelge 5.5 Gradasyon-7 marshall performans sonuçları 72
Çizelge 5.6 Kür durumuna göre marshall performans sonuçları 73
Çizelge 5.7 Ektraksiyon sonucu elekte kalan malzeme 73
Çizelge 5.8 Ektraksiyon sonucu % geçen malzeme.....74

1. GİRİŞ

Ülkeler arası mesafelerin hızla azaldığı, zamanın en büyük ve en kıymetli kaynak olarak görüldüğü günümüz dünyasında gerek yük, gerekse yolcu taşımacılığı büyük önem arz etmektedir. Ürünler yerel pazarların ötesinde dünya pazarlarına açılmış, kişilerin tatil ve iş gezileri kıtalararası boyuta geçmiştir. İnsanlar en hızlı, en konforlu, en az riskli ulaşım araçlarına yönelmektedir. Bu durum uçuş sayılarının artmasıyla birlikte uçak gövde büyüklüklerini de artmıştır. Mevcut bu durum havalimanlarının önemini artırmıştır. Havalimanı pistlerinin uzun ömürlü olması yanında bakım onarımda maliyet avantajından ziyade zaman avantajına sahip olması istenmektedir.

Kalıcı deformasyona ve tekerlek izine karşı yüksek mukavemet göstermesi, uzun hizmet ömrü, aşınma ve kaymaya karşı yüksek direnç sağlaması, yüzey dokusunun diğer aşınma tabakalarına göre daha iyi olması gibi etkenlerden dolayı aşınma tabakası olarak taş mastik asfalt kullanımı tercih edilmektedir.

Genel olarak aşınma tabakası olarak kullanılan taş mastik asfalta Amerika Birleşik Devletleri Federal Havacılık İdaresi (FAA), ülkemizde Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı Altyapı Yatırımları Genel Müdürlüğü şartnamelerinde yer verilmemiştir. Taş mastik asfalt şartnamesi bulunan çoğu ülkede ve Karayolu Teknik Şartnamesinde taş mastik asfalt için Marshall stabilite ve akma değerlerine yönelik herhangi bir limit şartı konulmamıştır.

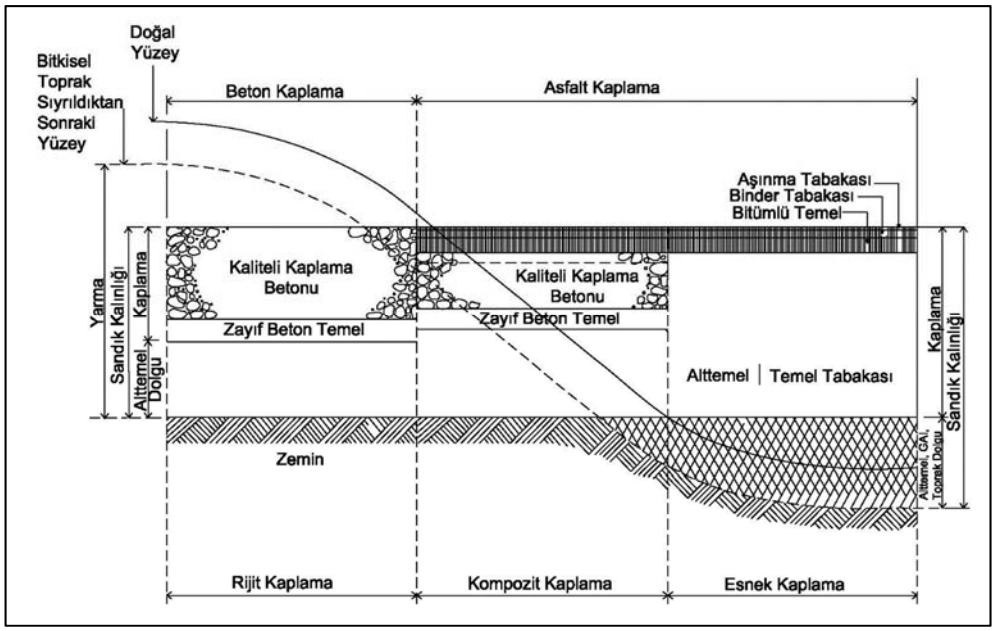
Marshall tasarım yöntemi 25 mm ‘den daha küçük dane boyutuna sahip agregalar içeren yoğun dereceli sıcak karışımlarda kullanılabilir. Bitüm olarak performans göstergeli bitüm kullanılmaktadır. Bu yöntem aynı zamanda taş mastik asfalt tasarımlarına da uyarlanmıştır. Marshall dizaynı hem laboratuvarda tasarım karışımları hem de asfalt kaplamalarda kalite kontrol için kullanılmaktadır (Manuel Series-4 2007).

Dünyanın her yerinde kullanılan Marshall tasarım yöntemi havalimanı kaplama tasarımı için ağırlıklı olarak kullanılan bir yöntemdir. Seçilen tek bir agrega gradasyonu için

optimum bitüm içeriğini belirlemek için çeşitli hacimsel ve dayanıklılık kriterleri için farklı asfalt içerikleri test edilir. Test sonuçları sıkıştırılmış özdeş üç numunenin ortalaması olarak alınır. Optimum bitüm içeriği seçimi trafiğe, iklime ve yerel malzemelere bağlı olarak mühendislik muhakemesi gerektirir (Manuel Series-2 2014).

1.1 Havalimanı Pist Yapısı

Havaalanı pistleri kara yollarında olduğu gibi üzerine gelen yükleri güvenli bir şekilde alt tabakalara iletebilecek şekilde tasarlanmaktadır. Bu kaplamalar, esas itibariyle tasarım ilkeleri ve üzerlerine gelen yükleri iletme bakımından karayolu kaplamaları ile benzerlik göstermektedir. Tasarım aşamasında karayoluna göre farklı bir takım ek parametreler dikkate alınır (Özbilgin 2010)



Şekil 1.1 Klasik pist yapısı

Havalimanı pistleri esnek, rijit ve kompozit olmak üzere üç farklı şekilde tasarlanmaktadır. Ülkemizde havalimanı pistleri genel olarak rijit ve esnek kaplama olarak tasarlanmaktadır. Tasarlanan kaplama türüne göre pist tabakaları farklılıklar göstermektedir. Mevcut koşullar göz önünde bulundurularak proje mühendisleri ihtiyaç

duyulan tabakaları eklenebilir. Şekil 1.1'de esnek ve rijit kaplamalara ait tabakalar ölçeksiz olarak belirtilmiştir.

Kaplama türünün seçimini ekonomik koşullar başta olmak üzere iklim koşulları, malzeme yakınlığı, trafik yoğunluğu, zemin yapısı, yapım tecrübeleri vb. faktörler belirlemektedir.

Havaalanı pist üst yapısı taşıma gücünün rapor edilmesinde ve tabaka kalınlıklarının belirlenmesinde 1981 yılından itibaren üstyapı tasarım yöntemi olarak ACN / PCN yöntemi kullanılmaktadır. (Okur 2008)

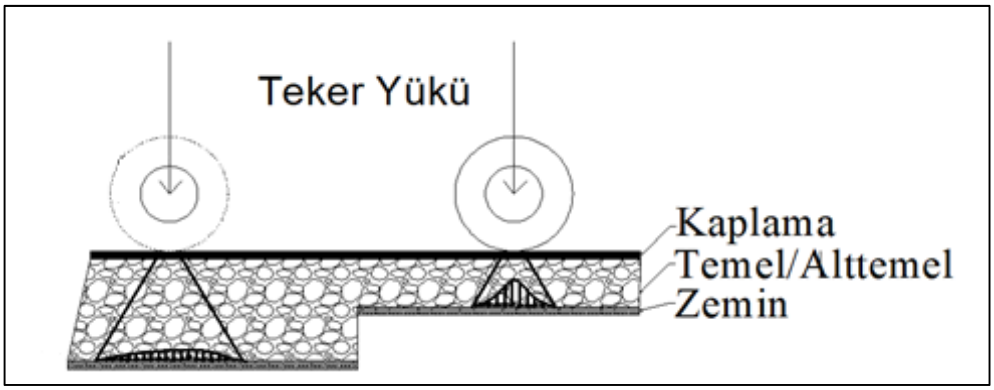
1.1.1 Temel tabakaları

Alt temel tabakası

Temel tabakası ile zemin arasında sıkıştırılmış veya uygun bir malzeme ile stabilize edilmiş tabakadır. Diğer tabakalara göre daha az yüke maruz kalmasından dolayı daha düşük kalitedir. Şişme, büzülme, don kabarması vb. hacimsel değişimlere engellemektedir. Serbestçe suyu süzmekle birlikte erozyona karşı direnim de sağlamaktadır (Özuğurlu 2015).

Temel tabakası

Kaplama tabakasından gelen trafik ve diğer yükleri karşılar ve alt temel tabakasının ve zeminin taşıma gücünü aşmayacak düzeyde düşürür (Şekil 1.2). Kaplama tabakasının kırılmasını önlemek için belirli ölçülerde esneklik sağlar. Kaplama tabakasından gelen yüklerin dağılımında önemli rol oynar. Temel tabakası kaliteli malzemeden ve kaliteli işçilikle imal edilmelidir. Kırmataş, asfaltlı makadam, sıcak karışım bitümlü temel gibi temel tiplerinden biri kullanılabilir (Kuloğlu *et al.* 2006).



Şekil 1.2 Teker yükü altında basınç dağılımı

1.1.2 Esnek pist kaplama tabakaları

Bitümlü temel

Bu katman, esnek kaplama yapısının büyük bir kısmını oluşturur. Bu tabakanın yapım amacı, yükü temele dağıtmaktır. Bitümlü temel tabaka genellikle daha az bitüme sahip karışımlardır aşınma veya binder tabakası kadar yüksek kaliteli imalata ihtiyaç duyulmaz.

Binder tabakası

Binder tabakası, aşınma tabakasından gelen yükleri azaltarak temel tabakasına iletir. Tekrarlı yüklere karşı kalıcı deformasyon ve çatlamaların meydana gelmesine engel olur. Katmanlar arası sıcaklık farkının ortaya çıkardığı kuvvetleri karşılamalıdır. Aşınma tabakası için uygun yüzey sağlamaktadır (Lavin 2003).

Aşınma tabakası

Aşıma tabakası trafik yükleriyle doğrudan temas halinde olan ve genellikle yüksek kaliteli malzemeler içeren ve kaliteli imalat gerektiren bir tabakadır. Genellikle yoğun dereceli asfalt betonu (AC) ile inşa edilirler. Bu katmanın işlevleri ve gereksinimleri şunlardır:

- Bozulmalara karşı dayanıklı olmalı,
- Sürüş kalitesi için pürüzsüz olmalı,
- Sürüş emniyeti için kaymaya dayanıklı bir yüzey sağlamalı,
- Tüm temel ve alt zemini suyun zayıflatıcı etkisinden korumak için su geçirmez olmalıdır.

1.2 Esnek Kaplamalı Pistlerde Oluşan Deformasyonlar

Esnek kaplama yüzeylerin deformasyonları genel olarak dört ana kategoride değerlendirilmektedir. Bunlar yüzey kusurları (ayrışam, kusma, cilalanma), yüzey deformasyonları (tekerlek izi, odülasyon, çökme), çatlaklar (timsah sırtı çatlaklar, blok çatlakları, yansıma çatlakları) ile yamalar ve çukurlar olarak kategorilendirilir.

Deformasyonlar genel olarak iki genel nedeni vardır: hava koşullarına ve yaşlanmaya bağlı çevresel etkiler ve tekrarlanan trafik yüklerinden kaynaklanan yapısal etkiler. Kaplama bozulmalarının çoğu hem çevresel hem de yapısal nedenlerden kaynaklanmaktadır (AC 150/5320-17A 2014).

Timsah Sırtı veya Yorulma Çatlakları

Timsah sırtı veya yorulma çatlaması, tekrarlanan trafik yükü altında asfalt yüzeyinin bozulmasından kaynaklanan bir dizi birbirine bağlı çatlaktır.

Kusma

Kusma, karışımdaki aşırı miktarda asfalt çimentosu ve/veya düşük hava boşluğu içeriğine bağlı olarak sıcak havalarda hava boşluğunu doldurduktan sonra kaplamanın yüzeyinde genişlemesiyle oluşur.

Blok Çatlakları

Blok çatlamaları günlük sıcaklık döngüsünden kaynaklanır. Blok çatlamaları genellikle asfaltın önemli ölçüde sertleştiğini gösterir. Normalde kaplama alanının büyük bir kısmında meydana gelen blok çatlamaları yükle ilişkili olmadığı için bazen trafik olmayan alanlarda da meydana gelebilir.

Ondülasyon

Ondülasyon, kaplama boyunca 1,5 metreden daha az genellikle düzenli aralıklarla oluşmuş dalgalanmalar serisidir. Oluşan dalgalanmalar trafik yönüne diktir. Bu tür deformasyonlar kalitesiz kaplama yüzeyi, yetersiz kaplama kalınlığı veya yetersiz temel tabakasıyla birleşen trafik yükleri ile meydana gelir.

Çökme

Çökmeler, asıl kaplama yüzeyinden daha düşük kotlara sahip lokal kaplama alanlarıdır. Çökmeler, temel/ alt temelin oturmasından / yetersiz sıkıştırılmasından veya kaplamanın inşa sırasında belli bir bölge yetersiz sıkıştırılmasından kaynaklanır. Çoğu durumda, hafif çökmeler bir yağmur sonrasına kadar fark edilmez, derinliği fazla olan çökmeler suyla doldurulduğunda uçağın suda kaymasına neden olabilir.

Jet Yakıt Deformasyonu

Çok yüksek sıcaklığa maruz kalan bitüm karbonlaşır veya yanar. Lokal yanan alanlar koyu renkli ve yaklaşık 13 mm derinliğe ulaşabilir.

Derz Yansıma Çatlakları

Beton blok üzerinde bulunan esnek kaplamalarda meydana gelir. Bu tür deformasyonlar esas olarak, sıcaklık ve nem değişiklikleri nedeniyle esnek kaplama altındaki beton

levhaların hareketinden kaynaklanır, deformasyon yük ile ilgili değildir. Ancak trafikle birlikte çatlak esnek kaplamanın bozulmasına sebep olacaktır (Bağdatlı 2010).

Enine ve Boyuna Çatlaklar

Boyuna çatlaklar, trafik veya döşeme yönüne paraleldir. Şerit derzi imalat hataları, asfalt yüzeyinin büzülmesi veya kaplama tabakası altında bulunan tabakalardaki çatlaklar sebep olabilir. Enine çatlaklar, trafik veya döşeme yönüne yaklaşık olarak dik uzanır. Asfalt yüzeyinin büzülmesi veya alt tabakalardaki çatlaklar sebep olabilir. Bu tür deformasyonlar yükle ilgili değildir.

Petrol sızıntıları

Petrol dökülmesi, yağ, yakıt veya diğer çözücülerin dökülmesinin yol açtığı kaplama yüzeyinin bozulması veya yumuşamasıdır.

Yama

Sergilediği performansa bakılmaksızın tüm yamalar kusur olarak kabul edilmektedir.

Agrega Cilalanması

Tekrarlı trafik yüklerinden meydana gelir. Kaplamanın üst kısmındaki agregaların aşınıp köşelerinin yuvarlanması sonucu pürüzlülüğün kısmen veya tamamen kaybolmasıdır.

Sökülme / Ayrışma

Kaba agregaların kaplama yüzeyinden ayrışması/sökülmesidir. Kalitesiz ve uygun olmayan malzeme kullanımı ve/veya yapım hatalarından meydana gelir.

Tekerlek İzi Oluşumu

Teker izi/ oluklar teker temas hattının çökmesi durudur. Çoğunlukla trafik yükleri altındaki malzemelerin yanal hareketi veya konsolidasyonu sonucunda ayrıca alt tabakalarda veya kaplama tabakasındaki kalıcı bir deformasyondan kaynaklanır.

Kayma Çatlakları

Yarım ay veya hilal şeklinde uçları pist yönünde olan çatlaklardır. Tekerlerin dönmesi veya fren yapılması kaplama yüzeyinin deforme olarak kaymasına neden olur. Genellikle düşük mukavemetli bir yüzey karışımı veya kaplama tabakası ile alt tabaka arasında zayıf bir bağ olduğunda meydana gelir.

Kabarma

Kaplama tabakası yüzeyinden yukarı doğru dar alanda keskin veya daha uzun, kademeli bir dalga olarak tanımlanır. Genellikle zemindeki donma olayı veya zeminin şişmesi neden olur. Kabarmayla birlikte yüzey çatlaması da görülebilir.

Yüzey Aşınması

Bitüm ve ince agrega karışımın kaplama yüzeyinden aşınması durumda ortaya çıkan deformasyondur.

1.3 Deformasyon Derecelendirmesi

Havalimanı pist deformasyonları, 5-mükemmel derecelendirmesi ile 1-başarısız derecelendirmesi arasında değişmektedir. Çoğu kaplama, derecelendirme ölçeğinde listelenen aşamalar boyunca bozulacaktır. Mükemmel durumdaki (derecelendirme 5) kaplamanın başarısız (derece 1) sınıfı deformasyonuna kadar geçen süre, yapının kalitesine, yaşına ve yoğun trafik yükünün miktarına bağlıdır.

Derecelendirme 5 – Mükemmel; bakıma veya herhangi bir işleme gerek yoktur.

Derecelendirme 4 – İyi; küçük rutin bakımlar yapılmalı, çatlak sızdırmazlığı sağlanmalıdır.

Derecelendirme 3 – Orta/uygun; koruyucu bakımlar yapılmalı, çatlak sızdırmazlığı sağlanmalı ve yüzey onarımları yapılmalıdır.

Derecelendirme 2 – Kötü; yapısal iyileştirme yapılmalı ve düzeltici işlemler yapılmalı (yama ardından kaplama)

Derecelendirme 1 – Başarısız; kaplama sökülmeli alt tabakalar uygun hale getirilecek yeniden yapılmalıdır.

1.4 Çalışma Kapsamı

Bu tez kapsamında havaalanı pistlerinde aşınma tabakası olarak kullanılan taş mastik asfaltın marshal yöntemi ile dayanımının farklı agrega türleri ve farklı gradasyonlar ile deneyleri yapılacaktır. Kalker ve bazalt malzemesinin taş mastik asfalt afaltta dayanım farkları, bazalt malzemesinin farklı gradasyonlarda hacimsel ve dayanım farklılıkları ile aynı gradasyonda farklı bitüm içeriklerine göre dayanım farklılıkları gözlemlenecektir.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Literatür taramasında; farklı malzemeler ve farklı gradasyonlarla yapılan çalışmalar ile farklı yöntemlerin karşılaştırılması incelenmiştir. Literatürde taş mastik asfalt karışımlara yönelik birçok laboratuvar çalışmaları yapılmıştır. Aşağıda bu çalışmalardan bazıları özet halinde verilmiştir.

Arslan (2014) Türkiye 'de taş mastik asfaltın üç farklı proje uygulamasını agrega temel alınarak değerlendirmiştir. Çalışmasında kumtaşı ve kireçtaşı taş mastik asfalt uygulamalarının bazalt ile oluşturulmuş taş mastik asfalt uygulamaları ile karşılaştırmıştır. Kireçtaşı ile kumtaşı ile oluşturulan taş mastik uygulamalarının, bazalt ile oluşturulan taş mastik asfalta alternatif olarak kullanılmasında olumsuz bir veriye rastlanmadığı bazı şartlarda bu kayaçların birbirlerine alternatif olarak kullanımının uygun olduğu belirtilmiştir.

Alp (2018) tez çalışmasında; taş mastik asfalt karışımı ile asfalt betonu aşınma tabakasının köprü tabliyelerinde uygulanmasına yönelik çalışmalar yapmıştır. Tekerlek izinde oturma deneyi sonuçlarında tio değerlerinin, aşınma asfalt betonunun taş mastik asfalt betonuna göre yüksek olduğunun görüldüğü, yorulma deneyinde ise; taş mastik asfalt karışımının aşınma asfalt betonu karışımına göre tekrar eden yüke karşı daha iyi olduğu, aşınma asfalt betonunun başlangıç sertliğinin % 50 'sini taş mastik asfalt betonuna kıyasla daha kısa bir sürede kaybettiği sonuçlarına varılmıştır. Her ne kadar ilk yapım maliyeti daha yüksek olsa da taş mastik asfalt betonunun hizmet ömrü dikkate alındığında aşınma tip asfalt betonundan daha ekonomik olduğu tespit edilmiş. Taş mastik asfalt betonunun daha fazla yaygınlaşması görüşünde bulunmuştur.

Şanlıer (2018) çalışmasında, "Kuzey Marmara Otoyolu Projesi, Odayeri-Paşaköy Kesimi İşi" kapsamında taş mastik asfalt uygulaması incelemiştir. Farklı bitümler ile 6 farklı taş mastik asfalt aşınma tabakası karışımları irdelemiştir. Malzeme (agrega, bitüm) deneyleri, Marshall Dizayn değerleri, tekerlek izinde oturma deneyi, indirekt çekme mukavemeti deneyi ve yorulma direnci deneyi sonuçlarını hem kendi aralarında hem de KTŞ ile karşılaştırarak elde edilen sonuçların fiziksel özellikleri ve performans üzerindeki etkileri

incelenmiştir. 6 farklı taş mastik asfalt aşınma tabakası karışımları içerisinde; tekerlek izi oluşumlarına ve sudan kaynaklanan bozulmalara karşı en iyi performansı polimer modifiye bitüm katkılı taş mastik asfalt karışımı göstermiştir. Kauçuk modifiye bitümlü taş mastik asfalt karışımların, katkısız bitümlü taş mastik asfalt karışımlara oranla yorulma direnci bakımından iyi sonuçlar verdiğini görmüştür.

Ismael (2020) yaptığı çalışmada. modifiye edilmemiş bitüm kullanarak normal sıcak asfalt karışım dizaynı ve SBS polimerleri kullanılarak modifiye edilen taş mastik asfalt karışım tasarımı yapmıştır. Yapılan karışımlarda marshall tasarım yöntemini kullanmıştır. Tasarımı yapılan bu iki karışımdan, Hamburg tekerlek izi deneyi yapıldıktan sonra, yük ve hava koşullarına dayanıklı ve uzun ömürlü olan karışımın taş mastik asfalt karışımın olduğu bulunmuştur.

Aslan (2020) kenevir bitkisinden elde edilen liflerin taş mastik asfalt karışımlarda kullanarak bitümün süzülme performansını araştırmıştır. Doğal kenevir lifinin fiber olarak kullandığı taş mastik asfalt karışımını özellikleri aynı selülozik fiber içeren numuneler ile karşılaştırması neticesinde ‰ 1, 2 ve 3 oranlarında doğal kenevir lifinin süzülme açısından selülozik fibere kıyasla daha yüksek performans gösterdiğini ortaya koymuştur.

İzol (2020) tez çalışmasında taş mastik asfalt karışımlarda mermer tozunu mineral filler kullanmıştır. Ayrıca karşılaştırma için mineral filler olarak bazalt ve kalker agregalarını kullanmıştır. Kaba agrega ve ince agregada bazalt tercih edilmiştir. Hazırlanan numuneler Marshall stabilite deneyine tabi tutulmuştur. Elde ettiği sonuçlara göre mermer tozunun taş mastik asfaltlarda alternatif filler malzemesi olarak kullanılabileceğini ortaya koymuştur.

Tayfur (2001) doktora çalışmasında taş mastik asfalt kaplamaların, Türkiye'de uygulanabilirliği ve karışım araştırması yapmıştır. Araştırmalar sonucunda en uygun gradasyonu seçerek farklı özellikte beş farklı katkı malzemesi kullanarak ve katkısız hazırladığı karışımlara performans deneyleri yapmıştır. Marshall tasarım deneyleri haricinde dolaylı çekme, dolaylı çekme mukavemeti, statik sünme, bitüm süzülme ve

tekerlek izinde oturma deneyleri yapmıştır. Yapmış olduğu bütün bu deneyler neticesinde en uygun katkılı karışımın saptanmasına çalışmıştır.

Çevrim (2021) çalışmasında taş mastik asfalt karışımlarda bazalt agregası yerine atık deniz kabuğu agregaların kullanılabilirliğini araştırmıştır. %5 oranında kırılmış deniz kabukları bazalt agregası yerine gradasyona sadık kalınarak karışıma ilave edilmiştir. Deniz kabuklarının dane boyutunun küçülmesi ve filler malzeme olarak kullanılması taş mastik asfalt karışımın mekanik özelliklerini iyileştirdiğini saptamıştır.

Aslan (2018) çalışmasında taş mastik asfalt karışımında; Ahlat taşı, perlit ve ponzanın kullanılabilirliği araştırmıştır. Yapılan Los Angeles deneyi neticesinde bu kayaçların taş mastik asfalt karışımında kaba agrega olarak kullanılamayacağı belirlenmiştir. İkinci aşamada bu malzemeler kaba ve ince agrega olarak bazaltın kullanıldığı taş mastik asfalt karışım filler malzeme olarak eklenerek stabilite ve akma değerleri saptanmıştır. Elde edilen veriler neticesinde Ahlat taşı, perlit ve ponzanın taş mastik asfalt karışımında filler malzeme olarak kullanılabileceğini belirlemiştir.

Kara (2021) bor atıklarının taş mastik asfalt karışımlarında kullanılabilirliğine yönelik çalışmalar yapmıştır. Agrega numunelerine; Parçalanma Direnci, İnce Agregada Kil Oranı, Hava Tesirlerine Karşı Dayanıklılık, Su Emme, Doygun Yüzey Kuru Birim Hacim Ağırlık deneylerini yapmıştır. Elde edilen bulgular fiziksel ve mekanik özellikler açısından şartname limitlerini karşılayamadığı bu nedenle taş mastik asfalt karışımlarında bor atıklarının kullanılamayacağı tespit etmiştir.

Tashmana ve Pearsonb (2012) taş mastik asfalt karışımlarının karakterizasyonu üzerine çalışmışlardır. Bu doğrultuda, kaba agrega boşluklarını deneysel olarak doğrulamak için geleneksel laboratuvar testleri ve gelişmiş görüntüleme teknikleri kullanılmıştır. Farklı kaba agrega iskeletlerine sahip olacak şekilde tasarlanan beş farklı taş mastik asfalt karışımı, kaba agrega oranı, mikro yapı parametreleri ve taş mastik asfaltın mekanik tepkisi arasındaki ilişkileri araştırıldı. Taş mastik asfalt karışımlarının mikro yapısını ölçmek için X-ışını CT ve görüntü analiz teknikleri kullanıldı. Hava boşluğu, dane dağılımları, karışımların tanımlanması ve böylece taş-taşa kaba agrega iskeletinin

varlığını doğrulamak için Weibull kümülatif dağılım fonksiyonu ile göz önüne konulmuştur. Mekanik tepkileri ölçmek için dinamik modül ve statik sürünme testleri yapılmıştır. Taş mastik asfaltın optimum performansını sağlamak için daha düşük bir kritik kaba agrega oranı ile değiştirilmesi önerilmiştir.

Jia vd. (2016) çelik köprü asfalt kaplama karışımlarının saha performansının karşılaştırmalı olarak incelemişlerdir. Kaplama karışımları, bir epoksi asfalt kaplama ile taş mastik asfalt ve Gussasphalt'tan (GA) oluşan bir kompozit kaplamayı içermektedir. Her köprüden alınan karot numuneler üzerinde kimyasal analizler yapıldı. Yapılan analizler iki kaplama karışımın genel olarak benzer saha performansı sergilediğini göstermişlerdir. Her iki köprüde, katmanlar arasında veya kaplama ile çelik tabliye arasındaki zayıf bağ nedeniyle farklı sıkıntılar meydana geldiği görülmüştür.

Cao vd. (2013) bazalt ve kalker agregaları kullanarak taş mastik asfalt karışımlarının performanslarını karşılaştırmışlardır. Üç farklı taş mastik asfalt karışımların (B-TMA; kaba ve ince malzeme bazalt, L-TMA; kaba ve ince malzeme kalker ve BL-TMA; kaba malzeme bazalt, ince malzeme ise kalker kullanılarak) performanslarını karşılaştırmışlardır. B-TMA'nın en iyi tekerlek izi direncine sahip olduğu, ardından BL-TMA'nın ve L-TMA'nın en son sırada geldiğini gösterdi. Buna karşın, düşük sıcaklık performansı, çatlamaya karşı direnç ve neme karşı duyarlılık açısından, ters sıraya sahiptirler. Agrega tipi tekerlek izi direnci üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu belirlenirken, düşük sıcaklıkta çatlama duyarlılığı veya nem duyarlılığı açısından önemli bir fark bulunamamıştır. En yüksek dinamik modülü sonucunu en büyük B-TMA karışımı, en küçüğü ise L-TMA karışımı göstermiştir.

Sarang vd. (2014) marshall sıkıştırma ve döner kompaktörde hazırlanan taş mastik asfalt karışımlarının karşılaştırılması üzerine çalışmışlardır. Bu araştırmada, Marshall Compaction ve ayrıca Superpave Gyratory Compactor ile taş mastik asfalt karışımları hazırlanmış ve laboratuvardaki performansları karşılaştırılmıştır. Karışımlar (VG)-30 viskozite dereceli bitüm kullanılarak hazırlanmış ve stabilize edici katkı olarak Zycosoil adlı kimyasal kullanılmıştır. Hacimsel özellikleri, Marshall özellikleri, nem etkisine karşı

davranış vb. laboratuvarda belirlendi. Sonuçlara bakıldığında döner sıkıştırmanın taş mastik asfalt karışımları hazırlamak için uygun bir yöntem olduğu görülmüştür.

Kulhar ve Bhatt (2021) PMB 40 bitüm (polimer modifiyeli) kullanarak taş mastik asfalt tasarım karışımını oluşturmayı ve taş mastik asfalt karışımının performans karakterini tanımlamada yardımcı olacak laboratuvar testleri yoluyla özelliklerini araştırmıştır. Optimum bitüm içeriğinin Marshall Testi belirlenmiştir. Bu araştırma, yoğun dereceli asfalt betonu BSK karışımına yönelik laboratuvar deneylerini yürüterek, yoğun dereceli asfalt betonu BSK karışımı ile TMA karışımının özelliklerini karşılaştırmaya yönelik bir çalışmadır. Yapılan deneyler sonucunda, özellikle büyük hacimli trafik taşıyan yollarda TMA karışımının kullanımı vurgulanmaktadır.

Alshamsi (2006) yol kaplama malzemesi olarak kullanılacak asfalt karışımlarının tasarımı ve karakterizasyonu üzerine kapsamlı bir çalışmadır. Bu çalışmada kırılmış kalker, kumtaşı ve granit olmak üzere üç agrega türü ele alınmıştır: Her bir agrega türü için Bailey agrega gradasyonu değerlendirmesi yöntemi kullanılarak üç farklı agrega yapısı tasarlanmıştır. Kumtaşı ve Granit karışımlarının nominal maksimum agrega boyutu (NMAS) 12,5 mm'dir ve yüksek trafik seviyesi için tasarlanmıştır, iki tip Kireçtaşı karışımı (25,4 mm ve 12,5 mm NMAS) iki trafik seviyesi (yüksek ve düşük trafik hacimleri) için tasarlanmıştır. Yoğun trafik karışımları için seçilen bağlayıcı türü PG 76-22 iken, düşük hacimli karışımlar için PG 70-22 kullanılmıştır. Bu araştırmanın sonucu, yeterli dayanıklılık seviyelerini korurken kalıcı deformasyona karşı iyi direnç sağlayan Bailey agrega gradasyonu yöntemi kullanılarak yoğun agrega yapıları ile uygun karışımların geliştirilebileceği gösterilmektedir.

Brown vd. (1997) tarafından yapılan çalışma Ulusal Asfalt Teknolojisi Merkezi tarafından geliştirilen SMA karışımları için bir karışım tasarım prosedürü sunmaktadır. Prosedürün geliştirilmesine yönelik veriler, çeşitli agregalar, dolgu maddeleri, asfalt bağlayıcılar ve stabilize edici katkı maddeleri ile yürütülen bir laboratuvar çalışmasından toplanmıştır. Sıkıştırılmış karışımlar, agrega yapısının, asfalt bağlayıcının ve bağlayıcı-ince agrega harcının etkilerini değerlendirmek için test edilmiştir. Bu çalışma; Los Angeles aşınma kaybı, agrega parçalanması ile iyi bir ilişki göstermiş, yassı ve uzun

olmayan parçaların daha iyi bir sınıflandırma sağladığı, Düz ve uzun parçacık oranı, agrega parçalanması ile tam bir uyum gösterdi, TMA karışımında, uygun taş-taş temasının sağlanması için 4,75 mm'lik elekten geçen yüzde, yüzde 30'un altında olmalıdır, 86 projeden elde edilen verilen TMA uygulamalarında daha az tekerlek izi oluşumu olduğu, Superpave döner kompakterin Marshall çekicinden daha az agrega parçaladığı, polimer ile modifiye edilen karışımlar, laboratuvar tekerlek izleme testlerinde tekerlek izine karşı daha iyi direnç gösterdiği belirlenmiştir.

Liu vd. (2017) tarafından gerçekleşen çalışmanın ile iri agregaların morfolojik özelliklerinin taş mastik asfaltın tekerlek izi ve yorulma performansı üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Toplam yirmi iki iri agrega fraksiyonu analiz edilmiştir. Tekerlek izi derinliği ve edilen sismik modül farkı, kaba agregaların morfolojik özellikleriyle ilişkilendirilmiştir. İstatistiksel analiz, düzlük oranı ve uzama oranının tekerlek izi derinliği üzerinde ölçülebilir bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Küresellik, açısallık ve tekstürün artmasıyla tekerlek izi derinliğinin arttığını göstermiştir. Performans sonuçları, düz ve uzun agregaların sadece sınırlı miktarlarda kullanılması gerektiği gösterilmiştir.

Al-Qadi vd. (2012) kür süresinin ve yeniden ısıtmanın, çeşitli sıcak karışım katkı maddeleri ile taş mastik asfalt karışımlarının kısa vadeli performansı üzerindeki etkileri, laboratuvar performans testlerinde değerlendirilmiş. Kür süresinin karışım özellikleri üzerindeki etkisi, karışım tipine ve dikkate alınan performans testine bağlı olduğu belirtilmiş. Sıcak karışım katkı maddeleri içeren karışımlar, kontrol karışımına kıyasla kürleme süresinden dolayı karışım özelliklerinde benzer farklılıklar gösterdiği, taş mastik asfalt karışımlarının, sıcak karışım katkı maddelerinin ve geri dönüştürülmüş malzemelerin tipine bağlı olarak, kontrol karışımından farklı performans özelliklerinde farklılıklar gösterdiği belirlenmiştir.

Prowell vd. (2010) taş mastik asfaltın hava sahası kaplamalarında yüzey kaplaması olarak kullanım potansiyelini değerlendirmek için bir çalışma yapmışlardır. Yapılan çalışma; hava alanları için SMA'nın performansını değerlendirmek ve belgelemek, hava limanları için bir tasarım ve yapım şartnamesi geliştirmek ve uygun olduğunda havaalanlarında TMA kullanımını genişletmek için bir uygulama planı geliştirmeyi içermektedir.

TMA'nın performansını asfalt betonu yoğun dereceli P401 karışımları ile karşılaştırmak ve TMA için spesifikasyon parametrelerini iyileştirmek için tasarlanmıştır. Çalışmanın sonuçlarına göre, TMA, asfalt betonuna karışımlara kıyasla eşit tekerlek izi performansı ve çatlama, nem hasarı ve yakıt dökülmelerine karşı geliştirilmiş direnç sunduğu gösterilmiştir.

White ve Jamieson (2019) çalışmalarında, yüzey dokusu ve sürtünmeye odaklanarak havaalanı asfaltının yapısal ve işlevsel performans gerekliliklerini özetlemekte ve yivli yoğun dereceli asfalta alternatif olarak yivsiz taş mastik asfaltın faydalarını sunmaktadır. Avustralya'da yivsiz bir pist yüzeyi olarak taş mastiği tanıtmaya yönelik mevcut çabalar ayrıntılı olarak verilmiştir ve Amerika Birleşik Devletleri ve Birleşik Krallığı'nda gelecekte pist kaplaması için bu yaklaşımı dikkate alması tavsiye edilmektedir.

Luque (2018) Danimarka Yol Müdürlüğü tarafından tasarlanan yüksek kaliteli bir Taş mastik asfaltın laboratuvar performansını ve performansını artırmak için farklı dozlarda gençleştirici ile harmanlanmış geleneksel Illinois yoğun dereceli bir karışımın laboratuvar performansını inceledi. Kısa süreli yaşlanmanın gençleştirilmiş AC karışımları üzerindeki etkisi de bu araştırmada ele alınmıştır. Bu çalışma, Illinois Esneklik İndeksi Testi (I-FIT) ve Hamburg Tekerlek İz Testi (HWTT) kullanılarak çalışma karışımlarının çatlama ve tekerlek izi potansiyelini değerlendirmeye odaklandı. AC'ye gençleştirici eklenmesinin esneklik özelliklerini iyileştirdiğini bulunmuştur; Ancak, TMA tarafından sergilenen esneklik indeksi (FI), bu çalışmada ele alınan karışımlar arasında en yüksek olanıydı. Yaşlanmayı olumsuz etkilemekle birlikte etkisi sınırlıdır. Tekerlek izi direnci ile ilgili olarak, her iki karışım türü de benzer nihai tekerlek izi derinlikleri sergilemiştir. Neme karşı duyarlılık verilerinin analizi, TMA ve modifiye edilmemiş yoğun dereceli AC karışımlarının, daha yüksek dozlarda gençleştirici içeren AC karışımlarına kıyasla nem hasarından daha az etkilendiğini ortaya koymuştur.

Asi (2006) yoğun dereceli asfalt karışımları ile taş mastik asfalt karışımlarının performanslarını karşılaştırmaktır. Her iki karışımdan da numuneler, kontrol karışımları için %5,3 ve taş mastik asfalt karışımları için %6,9 olan optimum asfalt içeriklerinde üretilmiştir. Her iki karışım üzerinde Marshall stabilitesi, Marshall stabilitesi kaybı,

yarma çekme mukavemeti, yarma gerilme mukavemeti kaybı, esneklik modülü, yorulma ve tekerlek izi testini içeren karşılaştırma performans testleri yapılmıştır. Test sonuçları, kontrol karışımlarının daha yüksek basınç ve çekme dayanımlarına sahip olmasına rağmen, taş mastik asfalt karışımlarının daha yüksek dayanıklılık ve esneklik özelliklerine sahip olduğunu göstermiştir. Ayrıca araştırma, sınırlı numune boyutları nedeniyle tekerlek izi direncinde TMA'nın üstünlüğünü kanıtlayamasa da, TMA karışımlarının saha performansı üstünlüğünü kanıtlamaktadır. Bu nedenle, özellikle sıcak iklimlerde, bu özellikler (dayanıklılık, esneklik ve tekerlek izi direnci) TMA karışımlarının yoğun dereceli karışımlara göre avantajlar sağladığı bulunmuştur.

Jamieson ve White (2021) taş mastik asfaltın Avustralya'da yivsiz bir pist yüzeyi olarak kabul edilmeden önce; tipik yoğun dereceli asfalt karışımlarına benzer şekilde performans gösterdiği belirlemek için bu çalışmayı yapmışlardır. Laboratuvar performansı ile ilgili testler sonucunda, dört farklı agrega kaynağı ile üretilen 10 mm ve 14 mm boyutlu taş mastik asfalt karışımlarının genel olarak havalimanı asfalt performans gereksinimlerini karşıladığı görmüşlerdir. 14 mm'lik karışımın, özellikle yüzey makro doku ve deformasyon direnci açısından 10 mm'lik karışımdan daha iyi performans gösterdiği bulunmuştur. Havaalanlarının gelecekte 14 mm boyutlu taş mastik asfaltı yivsiz bir pist yüzeyi olarak görmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

Asfaw (2008) yapmış olduğu çalışmasında farklı SMA ve S-4 karışımları yapıldı. Tüm karışımlar PG 76-28 asfalt çimentosu ile yapılmıştır. Karışımların performans özelliklerini değerlendirmek için numuneler yapılmış ve Hamburg tekerlek izi test cihazı kullanılarak Hamburg tekerlek izi direnci için test edilmiştir. Genel olarak, TMA karışımlarının tekerlek izi direnci açısından S-4 karışımlarından daha iyi performans gösterdiği gösterilmiştir. SMA karışımları, S-4 karışımlarından daha düşük ortalama tekerlek izi derinliği göstermiştir.

Sarang vd. (2015) çalışmalarındada, taş mastik asfalt karışımlarını hazırlamak için nominal maksimum agrega boyutları (NMAS) 16 ve 13 mm olan iki agrega gradasyonu benimsenmiş ve laboratuvar performansları karşılaştırılmışlardır. Bağlayıcı malzeme olarak polimer modifiye bitüm kullanılmış ve herhangi bir stabilize edici katkı maddesi

kullanılmamıştır. Agrega ağırlığına göre % 5,0, % 5,5, % 6,0, % 6,5 ve % 7,0 bitüm içerikli silindirik numuneler süperpave döner kompaktörde hazırlanmış ve hacimsel ve Marshall özellikleri belirlenmiştir. Laboratuvar çalışmasından iki SMA karışımından NMAS 16 mm olanın diğerine göre daha iyi performans gösterdiği gösterilmiştir.

Jiang vd. (2020) taş mastik asfalt (SMA-13) karışımları, düşey titreşim test yöntemi (VVTM), Marshall yöntemi ve süperpave gyratory kompaktör yöntemi (SGC) olmak üzere üç yöntem kullanılarak tasarlanmıştır. Her üç yöntemle tasarlanan SMA-13'ün performansları ölçülmüş ve karşılaştırılmıştır. Karışımının optimum bitüm içeriğinin VVTM tasarımlı SMA-13'te Marshall tasarımlı ve SGC tasarımlı asfalt karışımına göre %5 daha düşük olduğunu görülmüştür. Marshall ve SGC tasarımlı asfalt karışımı ile karşılaştırıldığında, VVTM tasarımlı SMA-13 daha yüksek yoğunluk, mekanik özellikler, tekerlek izi direnci, düşük sıcaklıkta çatlama direnci, su stabilitesi ve yorulma ömrü özellikleri gösterdiği bulunmuştur. VVTM yöntemiyle tasarlanan SMA-13 karışımı, geleneksel tasarım yönteminden daha iyi bir yol performansı ve dayanıklılık sunduğu belirlenmiştir.

White (2017) tarafından yapılan çalışmada bazı havaalanı kaplamalarının, sahada beklendiği gibi performans göstermemesi geleneksel ve kuralcı Marshall tasarımına olan güvenin azalmasına neden olduğunu belirtmiştir. Taş mastik asfalt gibi deformasyona karşı daha dirençli olan ve kanal açmanın önlenmesini sağlayan alternatif asfalt karışım türlerinin havalimanı üstyapı endüstrisi için artan bir ilgi olduğunu tespit etmiştir. Geliştirilen asfalt yüzey performansı, hem deformasyon hem de kırılma direnci olarak ta iyi sonuçlar vermesi gerektiğini bunun yanında yüzey dokusu ve kayma direncinden taviz verilmemesi gerektiği belirtilmiştir.

Blazejowski (2011) yapmış olduğu bu çalışmada dünya çapında çok sayıda yayından elde edilen belirli bir bilgi birikimini organize bir şekilde bir araya getirmeye çalışarak taş mastik asfaltın tanınmasını sağlamış. Ayrıca çeşitli ülkelerden çok sayıda mühendisin tasarım yöntemlerini geliştirmek için yaptığı başarılı çalışmaları incelemiştir. Taş mastik asfalt ile ilgili geniş bir bilgi sunulmuştur.

3. BİTÜMLÜ SICAK KARIŞIMLAR

3.1 Bitümlü Sıcak Karışım Türleri

Ülkemiz karayolları kaplama tabakasının büyük bir bölünü sıcak bitümlü karışımlar oluşturmaktadır. Bitümlü sıcak karışım kaplamaları, malzemelerin ve tasarımın belirli mühendislik gereksinimlerini karşılar ve çok fazla trafik yüküne ve farklı çevre koşullarında hizmet eder. Bu koşullar altında uzun süre iyi performans göstermesi istenir. Bu ihtiyaçlara karşılamak için farklı türde karışımlar geliştirilmiştir. Bunlar açık dereceli asfalt karışımları, yoğun dereceli asfalt ve taş mastik asfalt yer alır.

3.1.1 Yoğun dereceli asfalt karışımları (Asfalt betonu)

Yoğun dereceli bir karışım, genel kullanıma yönelik iyi dereceli bir sıcak bitümlü karışımıdır. Tasarım ve imalat aşamalarında özen gösterilmesi durumunda, yoğun dereceli bir karışım nispeten geçirimsizdir. Yoğun dereceli karışımlar genellikle nominal maksimum agrega boyutları ile anılır. Ayrıca ince dereceli veya kaba dereceli olarak sınıflandırılabilirler. İnce dereceli karışımlar, kaba dereceli karışımlardan daha fazla ince ve kum boyutlu danelere sahiptir. Yoğun dereceli karışımlar, tüm üstyapı katmanları ve tüm trafik koşulları için uygundur. Yapısal, sürtünme, tesviye ve yama ihtiyaçları için iyi performans gösterirler.

İnce dereceli karışımlar; Daha düşük geçirgenlik, işlene bilirlik, daha ince kaplama kalınlıkları, düşük hacimli yollarda daha fazla dayanıklılık ve pürüzsüz doku sağlar. Kaba dereceli karışımlar ise arttırılmış makro doku ve daha kalın tabakaların yapılmasına olanak tanır.

3.1.2 Açık dereceli asfalt karışımları

Açık dereceli karışımlar, suya karşı geçirgen olacak şekilde tasarlanmış, bu durum onları nispeten geçirimsiz olan yoğun dereceli ve taş mastik karışımlarından ayırır. Bu

karışımlar yalnızca kırma taş veya bazı durumlarda az miktarda üretilmiş kum içeren kırma çakıl kullanır. Yüzey karışımları için modifiye asfaltların ve liflerin kullanılması gereklidir. Bu gereklilik kullanılabilecek asfalt miktarını artırarak dayanıklılıklarını ve performanslarını iyileştirir.

3.1.3 Taş mastik asfalt karışımları

Taş Mastik Asfalt Ortaya Çıkışı ve Gelişimi

Taş mastik asfalt (TMA) çivili lastiklerin aşınma tabakasına verdiği hasarı ortadan kaldırmaya yönelik hazırlanan bir karışımdır. TMA 1960'ların ortalarından beri bilinmekte ve Alman mühendis ve Strabag Bau AG'deki Yol İnşaatı Merkez Laboratuvarı yöneticisi Dr. Zichner tarafından tasarlanmıştır. O dönemde Almanya'da aşınma tabakası olarak karışımları mastik asfalt ve düşük kaba agrega içeriğine sahip asfalt betonu kullanılmaktaydı. Bu karışım çivili lastiklere sahip araçlara uygun mukavemeti sağlamak için oldukça zayıftı. Kaplama bakım onarımlarının yüksek maliyetli olması çivili lastiklere dayanabilecek yeni bir karışama yönelik güçlü bir talep oluşturmuştur (Blazejowski 2011).

TMA Avrupa da Almanya, Norveç ve Danimarka'da normal bir pist kaplama tabakasıdır. Diğer Avrupa ülkelerinin bazı havalimanları veya bazı pistlerinde TMA kullanılmıştır (Çizelge 3.1). Asya kıtası Avrupa'dan daha sonra TMA kullanımına geçmesine karşın Çin TMA pist yüzey kaplamasında lider konumundadır. Avustralya TMA'yı pist kaplamalarında sınırlı olarak kullanmıştır. Kuzey Amerika'da TMA Meksika'da 2004-2005 yıllarında iki pistin kaplama malzemesi olarak kullanıldı. Amerika Birleşik Devletlerinde 2005 yılında Indianapolis havaalanı taksi yolunda kullanılmıştır (White 2018).

Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından Türkiye'de ilk Taş Mastik Asfalt kaplamalar 1998 yılında deneme yol kaplaması olarak uygulanmaya başlamış ve 1999 yılında taşıt trafiğine açılmıştır (Sultani 2021).

Çizelge 3.1 Bazı Avrupa ülkeleri 2020 yılı taş mastik kullanım yüzdesi (eapa.org)

Ülke	Asfalt Betonu	Taş Mastik Asfalt	Diğer
Avusturya	90,0	9,0	1,0
Belçika	72,6	23,3	4,1
Hırvatistan	93,8	5,7	0,5
Çek Cum,	86,7	11,5	1,8
Danimarka	67,0	32,6	0,4
Estonya	91,5	8,1	0,4
Finlandiya	80,3	13,2	6,5
Almanya	58,1	25,8	16,1
Macaristan	92,0	6,0	2,0
Portekiz	94,0	5,0	1,0
Romanya	72,8	27,2	0,0
Slovakya	91,0	8,0	1,0
Slovenya	87,0	12,0	1,0
İspanya	82,6	2,8	14,6

Taş Mastik Asfalt Tanımı

Taş mastik asfalt, asfalt beton karışımlara nazaran yüksek oranda kaba agrega ve bitüme sahip sıcak karışımlardır. Taşın taşa taşıtılması ilkesi ile daha yüksek mukavemet ve daha iyi tekerlek izi direnci sağlanmaktadır. Kaba agrega iskeleti, ağır trafik yüklerine dayanmak için araçların kesme mukavemetine ve etkili yükleme dağılım modeline katkıda bulunur. İnce agrega, bitümlü bağlayıcı, filler ve katkı malzemelerinden oluşan bağlayıcı harcı, daha yüksek bağlayıcı ve dolgu içeriği nedeniyle karışıma dayanıklılık da sağlar (Sarang *et al*. 2015).

Taş Mastik Asfaltın Avantajları

Taş mastik asfalt, diğer karışımlara göre bir takım avantajlara sahiptir. Bunlar aşağıdakileri içerir (Şanlıer 2018, Hainin *et al.* 2012):

-Kalıcı deformasyona veya tekerlek izine karşı daha yüksek direnç,
-TMA'nın taşın taşa taşıttırılması prensibinden dolayı bağlayıcı malzeme olumsuzluklarına daha duyarlıdırlar,

-Yüksek durabiltesi uzun hizmet ömrü sağlar,
-İyi esneklik ve yorulmaya karşı direnç sağlar,
-Düşük sıcaklıklarda daha iyi performans gösterir,
-Aşınma ve kayma direnci yüksektir,
-Yüzey dokusu daha iyi olması yatay trafik işaretlerinin görünümünü artırır, far ışıklarının yansıma yapmasını azaltır, trafiğin daha düşük gürültü ile geçmesini sağlar ,
-TMA için özel bir tesis veya ekipmana ihtiyaç yoktur,
-Uzun hizmet ömrü bu karışımı uzun vadede daha ekonomik kılar.

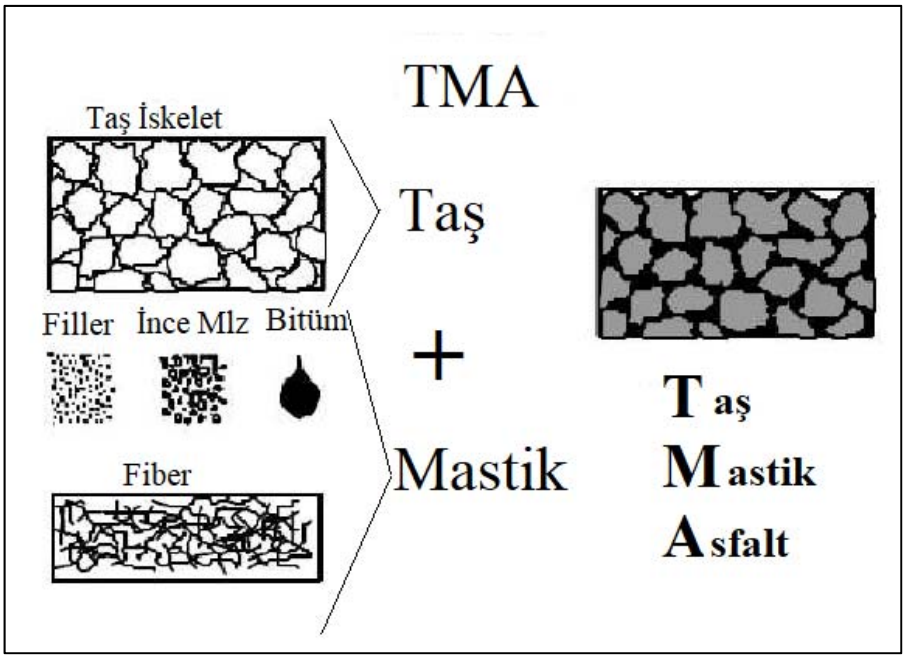
Taş Mastik Asfaltın Dezavantajları

Taş mastik asfaltın dezavantajları aşağıda ki gibi sıralanabilir (Şanlıer 2018, Hainin *et al*. 2012):

-Yüksek bitüm oranı ve dolgu içeriği ve elyaf katkı maddesinden doğan yüksek maliyet,
-Karışımda bağlayıcı malzemenin yüzeye çıkmasını önlemek için 40°C'ye soğutulması gerektiğinden hizmete alınması daha geç olmaktadır,
-Yüzeyde oluşan kalın bağlayıcı film yüzeyin trafik tarafından aşınıncaya kadar ilk kayma direnci düşük olabilir,
-TMA üretim sıcaklığı yüksek olduğundan enerji sarfiyatı fazladır,
- Serim sıcaklığının daha yüksek olması gerektiğinden taşıma mesafesine sınırlıdır,
- İşlenebilirliği düşük ve daha sert yapıdadır.

Taş Mastik Asfaltın Yapısı

Taş mastik asfalt iki kısımdan oluşmaktadır (Şekil 3.1). Taş mastik asfaltın çıkış mantığı ile Kaba agrega- kaba agrega temasına sahip kaba agrega iskeleti ve bitümce zengin mastik harç kısımlarıdır.(Kamaluddın 2008)



Şekil 3.1 Taş mastik asfalt yapısı

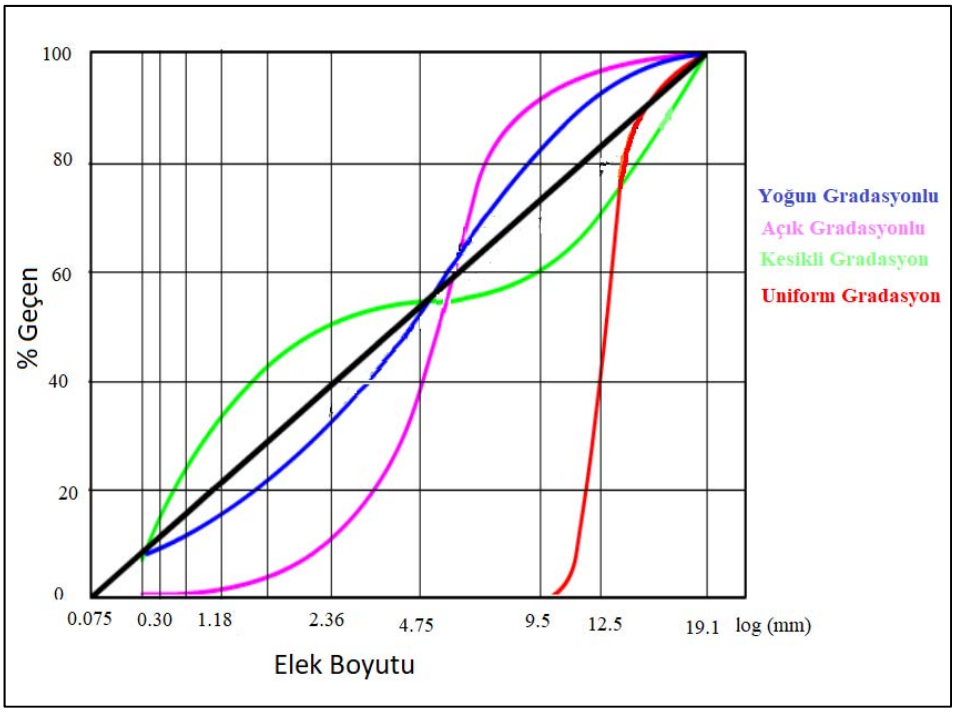
Taş Mastik Gradasyonu

Üniforma dereceli agrega; Agrega danelerinin çoğunluğu çok dar bir boyut aralığını içeren bir derecelendirmeyi ifade eder. Prensip olarak tüm daneler aynı boyuttadır. Yüksek boşluk içeriği, yüksek geçirgenlik, düşük stabilite değerleri verir. Sıkıştırılması zordur.

Açık dereceli agrega; Agrega danelerinin küçük bir yüzdesi dar aralıktadır. Bu durum daha büyük parçacıklar arasındaki boşlukları doldurmak için yeterli küçük parçacık olmadığı için daha fazla hava boşluğuna neden olur.

Yoğun dereceli agrega; Çeşitli boyutlarda agregaların yaklaşık olarak eşit miktarlarda olduğu bir numuneyi ifade eder.

Kesikli gradasyon; Boşluk dereceli agrega, orta boyut aralığında yalnızca dar bir agrega dane yüzdesi içerir. Eğri orta boy aralığında düzdür. Boşluk dereceli agrega belirtildiğinde, belirli agrega boyutları boyut sürekliliğinden çıkarılır (Şekil 3.2).



Şekil 3.2 Agrega gradasyonuna göre elde edilen karışım sınıflandırması

Taş mastik asfalt karışımları, yüksek bitüm içeriğine sahip kesik gradasyonlu bitümlü sıcak karışımlardır (Tayfur 2001).

3.2 Bitümlü Karışım Dizaynları

Bitüm karışım tasarımı tanımı, genellikle optimum bitüm içeriği seçimi ile eşanlamlı olarak görülmektedir. Ancak bu durum, diğer önemli faktörler göz önüne alındığında yalnızca son işlemdir. Bitümlü sıcak karışımlar iki temel bileşenden oluşur: agrega ve bitümlü bağlayıcı. Bitümlü sıcak karışımlar tasarımı, hangi agreganın kullanılacağını, hangi bitümlü bağlayıcının kullanılacağını ve bu iki bileşenin optimum kombinasyonunun ne olması gerektiğini belirleme sürecidir.

Bitümlü karışım tasarımlarında bazı sınırlamaların olduğu bilinmelidir. Şüphesiz birkaç numuneden, bir sıkıştırma makinesinden ve birkaç test cihazından oluşan laboratuvar düzeni, gerçek üretim, inşaat ve performans koşullarını tam olarak simüle edemez. Her şeye rağmen, bu tasarımlar iş yeri karışım tasarımı kararlarını vermede yararlı olan uygun maliyetli bir araçtır.

Bitümlü karışımları için istenen özellikler bitmiş kaplama yapısında istenen özellikleri elde etmek için bileşen malzemelerin seçilmesi ve oranlanması meselesidir. Herhangi bir asfalt karışımı için ortak gereksinimler şu şekilde açıklanabilir. (Asphalt Institute MS-2 2014)

- Kalıcı deformasyona karşı direnç; özellikle yüksek sıcaklıklarda karışım, trafik yüklerine maruz kaldığında bozulmamalı veya parçalanmamalıdır.
- Tekrarlanan trafik yükleri altında karışımın eğilmeye karşı gösterdiği yorulma direnci yeterli olmalıdır.
- Soğuk bölgelerde düşük sıcaklıkta çatlamaya karşı direncin yeterli olmalıdır.
- Dayanıklı olmalıdır. Karışım, agrega parçacıklarının etrafında yeterli film kalınlığını sağlamak için yeterli bitümlü bağlayıcı içermelidir. Sıkıştırılmış karışım, yaşlanma sürecini hızlandıran çok yüksek hava boşluklarına sahip olmamalıdır.
- Nem kaynaklı hasara karşı dirençli olmalıdır.
- Araçların kaplama üzerinde güvenli sürüş ile ilgili fonksiyonel bir gereklilik olan kayma direnci iyi olmalıdır.
- Karışım, aşırı çaba sarf etmeden kaplama imalatının yapılabileceği kadar işlenebilir olmalıdır.-
- Kaplama tabakası düşük gürültü ve iyi drenaj özelliklerine sahip olmalıdır.

3.2.1 Hubbard-Field yöntemi

Asfalt karışımları için ilk resmi tasarım yöntemi olarak kabul edilebilir. Başlangıçta kum-asfalt karışımlarını tasarlamak için geliştirilmiş ve daha sonra agregalar için geliştirilmiştir. Yöntem, bir dizi bitüm içeriğinde 50,8 mm çapında 25,4 mm yüksekliğinde numunelerin sıkıştırılmasını içeriyordu. Her numune bir su banyosunda 140ºF'ye ısıtılır ve sırayla 140ºF su banyosuna yerleştirilen bir test kalıbına yerleştirilir ve 2,4 inç/dakika hızında bir sıkıştırma yükü uygulanır. Pound cinsinden sürdürülen maksimum yük, Hubbard-Field kararlılığıdır.

Hazırlanan tüm numuneler test edildikten sonra, optimum bitüm içeriğini belirlemek için her bitüm içeriğindeki ortalama stabilite hesaplanır ve çizilir. Bu yöntemde ki sorunlardan biri 12,7 mm'den büyük boyutlu agregaların kullanımını sınırlayan test kalıplarının boyutudur. Çünkü 50,8 mm çapındaki kalıp için maksimum agrega boyutu 50,8/4=12,7 mm'dir. Diğer bir sıkıntı ise bulunan stabilite değerinin gerçek karışım performansını ne kadar yansıttığıdır.

3.2.2 Hveem mixture tasarım yöntemi

Hveem Mixture Tasarım Yöntemi ABD'nin sıcak iklimlerin ve çöl bölgelerinin yaygın olduğu güney ve batı eyaletlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu karışım özellikle tekerlek izine karşı dayanıklılık için kullanışlıdır. Bu tasarım yöntemi Marshall tasarım yöntemine göre sıkıştırılmış numunede agrega yapısının stabilitesini daha fazla test eder. Optimum bitüm içeriği Marshall yöntemiyle belirlenenden yaklaşık %0,3 daha düşüktür.

Belirli bir agrega gradasyonunda, dört bitüm içeriğinin her biri için bir numune yapılarak çeşitli kriterler test edilir. Karar piramidi kullanılarak her seferinde kriterleri karşılayan en yüksek bitüm içeriği seçilerek üç adımda optimum bitüm içeriği bulunur.

Bu yöntem asfalt çimentosu veya cutback asfalt ve maksimum 25 mm boyutundaki agrega içeren kaplama karışımlarında kullanılabilir. Yoğun dereceli bitümlü sıcak karışımlar için uygulanabilir. (Asphalt İnstitute MS-2 2014)

3.2.3 Superpave tasarım yöntemi

Superpave tasarım yöntemi spesifik bir bitümlü sıcak karışım değildir ve eksiksiz bir kaplama sistemini ifade eder. Karışım, kaplama imalatının yapılacağı yerin geçmiş iklim koşullarının yanı sıra beklenen trafik yükünü de kapsayacak şekilde tasarlanmıştır. Bitümlü sıcak karışım bileşenleri, her biri belirli gereksinimleri karşılayacak şekilde özenle seçilir. Bitüm sınıfı, sahadaki kaplamanın geçmişte hem yüksek hem de düşük sıcaklıklarına bakılarak belirlenir. Ek olarak, agrega, kaba ve ince

agrega köşeliliği , yassı ve uzun parçacıklar dahil olmak üzere belirli ortak özellikleri karşılamalıdır. Tasarım kriterleri nedeniyle, Superpave karışımları, genel olarak, standart karışımlardan daha kaba bir agrega karışımı ve daha düşük asfalt içeriği ile sonuçlanan güçlü bir agrega yapısına sahip olmalıdır. Superpave karışımları, beklenen trafik yüklerine ve kaplamaların beklenen yüksek ve düşük sıcaklıklarına uyacak şekilde tasarlanmıştır. Superpave serme sisteminin geliştirilmesine yol açan temel sorun, tekerlek izi şeklindeki kaplama deformasyonuydu. Elde edilen karışımlar, daha önce tasarlanandan çok daha fazla taş-taş temasına sahiptir ve tekerlek izlerine karşı daha dirençlidir, ancak aynı zamanda sıkıştırılması daha zordur. Uygun karışım yoğunluğunu elde etmek için daha ağır silindirler ve daha fazla sıkıştırma çabası gerekir (James 2016).

Superpave karışım tasarımı yedi aşamadan oluşur:
- Agrega seçimi,
- Bitümlü bağlayıcı seçimi,
- Sıkıştırma dahil numune hazırlama,
-Performans testleri,
-Yoğunluk ve boşluk hesaplamaları,
-Optimum asfalt bağlayıcı içeriği seçimi,
-Nem duyarlılığı değerlendirmesi.

Agrega seçimi iki şekilde gerçekleştirilir:

Geniş kontrol noktalarından dolayı agrega gradasyonuna seçiminde bazı kısıtlamalar vardır ve iri ve ince agrega için açısallık, yassı ve uzun parçacıklar ve kil içeriğine limitler getirir. Aşınma, sağlamlık ve su emme gibi kaynağa özgü olarak kabul edilen özellikler gibi diğer toplu kriterler de Superpave'de kullanılmaktadır

3.2.4 Marshall tasarım yöntemi

Bruce G. Marshall, Marshall Metodu'nu ilk olarak 1940'larda Mississippi Eyalet Karayolu Departmanı ile çalışırken geliştirdi ve daha sonra ABD Ordusu Mühendisler

Birliği tarafından geliştirildi. Bu yöntemin geliştirilmesindeki temel amaç, bitümlü karışımların hacimsel ve mukavemetle ilgili özelliklerini değerlendirmek için basit ve hazır test ekipmanlarını kullanan bir karışım tasarım prosedürü oluşturmaktı. (Asphalt İnstitute MS-2 2014). Marshall yönteminin pratikliği, onu Amerika Birleşik Devletleri'nde uzun yıllardır en yaygın kullanılan karışım tasarım prosedürü haline getirdi ve hala dünyanın birçok ülkesinde kullanılmaktadır.

Marshall yönteminde, farklı bitüm yüzdesinde numunelerinin hazırlanmasına ve karışım tasarımının şu özelliklere göre değerlendirilmesine dayanır:

- Hava boşluğu
- Stabilite,
- Akış,
- Yoğunluk,
- Mineral agrega içindeki boşluklar (VMA),
- Asfaltla doldurulmuş boşluklar (VFA)

Son tasarım tüm karışım özelliklerinde tüm kriterleri karşılayan optimum asfalt içeriği seçilir.

Marshall yöntemi ana avantajlarından biri, hacimsel gereksinimleri performansla ilgili testlerle (kararlılık ve akış) dengelemeye çalışmasıdır. Stabilite ve akma, silindirik bir numunenin kırılmaya kadar tek eksenli yüklemeye tabi tutularak ölçülür. Stabilite, numune tarafından taşınan maksimum yük olarak alınmıştır ve malzemenin mukavemeti ile ilişkilendirilmiştir. Akma ise kırılmadan önce numunenin uğradığı deformasyon miktarıdır ve karışımındaki bitüm oranın fazla olup olmadığının bir göstergesidir.

Uygulanabilirliği, kolaylığı ve geniş adaptasyonuna rağmen Marshall yönteminin eksiklikleri yönleri mevcuttur. Numunenin hazırlanması gerçekte olan alan sıkıştırmasını simüle etmeyen belli bir ağırlıkta tokmağın belirli bir yükseklikten belli bir sayıda düşürülmesi yöntemine dayanır. Marshall tasarım yöntemi, karışımların gerçek kalıcı

deformasyon direncine yönelik son derece sınırlı fikir sunar bu açıdan karışımlar bu dirence göre sınıflandırılmazlar.

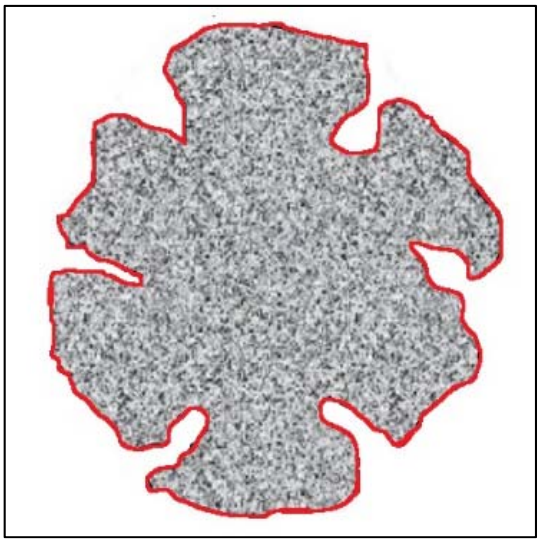
Marshall numuneleri "TSE EN12697-30 Bitümlü karışımlar - Deney yöntemleri - Bölüm 30: Darbeli sıkıştırıcı ile numune hazırlanması" standardına göre hazırlanmaktadır. Standarda göre numune hazırlanmasında çelik, darbeli otomatik veya manuel kompaktör kullanılmaktadır.

3.3 Bitümlü Karışımlarda Hacimsel Kavramların Tanımlanması

3.3.1 Agrega karışımlarının özgül ağırlığı;

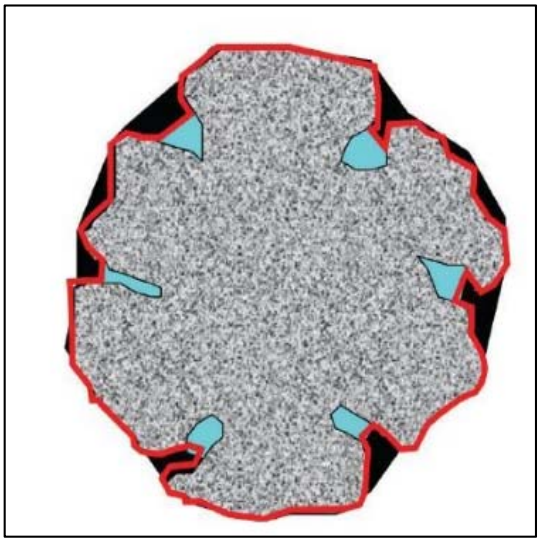
Özgül ağırlık birim hacim agrega ağırlığının aynı hacimdeki 25 ºC 'de destile suyun ağırlığına oranıdır. Agrega karışımları için üç farklı özgül ağırlık tanımlaması yapılmıştır.

Zahiri özgül ağırlık(Gsa): Kuru agreganın sadece geçirimsiz boşluklar dahil havadaki ağırlığının aynı hacimdeki 25ºC 'de destile suyun ağırlığına oranıdır (Şekil 3.3).



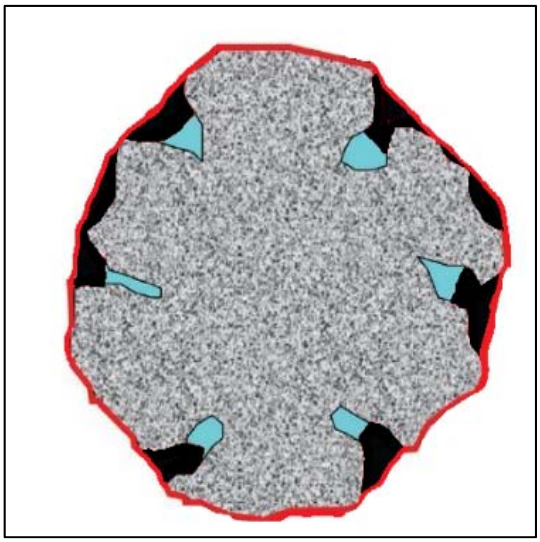
Şekil 3.3 Zahiri özgül ağırlığa esas agrega hacmi

Efektif özgül ağırlık(Geff): Kuru agreganın bitüm absorbe edebilen boşluklar hariç diğer geçirimli ve geçirimsiz boşluklar dahil havadaki ağırlığının aynı hacimdeki 25ºC ‘de destile suyun ağırlığına oranıdır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4 Efektif özgül ağırlığa esas agrega hacmi

Hacim özgül ağırlık(Gsb): Kuru agreganın geçirimli ve geçirimsiz bütün boşluklar dahil havadaki ağırlığının aynı hacimdeki 25ºC ‘de destile suyun ağırlığına oranıdır (Şekil 3.5).



Şekil 3.5 Hacim özgül ağırlığa esas agrega hacmi

Denklem (3.1), denklem (3.2) ve denklem (3.3) su absorbsiyon yüzdesi hacim özgül ağırlık ile zahiri özgül ağırlık, bitüm absorbsiyon yüzdesi ise efektif özgül ağırlık ile zahiri özgül ağırlık kıyaslamasıdır.

Agrega karışımı kaba agrega (No:4 elek üstü), ince malzeme (no:4 elekten geçen No:200 üstü) ve filler malzemeden (No:200 elekten geçen) oluşmaktadır. Bu üç malzeme ağırlıkça belli yüzdelerde alınarak agrega karışımı oluşturulur.

$$\text{Gsa} = \frac{K+\text{İ}+F}{\frac{K}{Gkz}+\frac{\text{İ}}{Giz}+\frac{F}{Gfz}} \tag{3.1}$$

$$\text{Gsb} = \frac{K+\text{İ}+F}{\frac{K}{Gkh}+\frac{\text{İ}}{Gih}+\frac{F}{Gfh}} \tag{3.2}$$

$$\text{Ge}f = \frac{\textbf{Gsa}+\text{Gsb}}{2} \tag{3.3}$$

Burada;

Gsa Agrega karışımı zahiri özgül ağırlığı, kg/m^3,

Gsb Agrega karışımı hacim özgül ağırlığı, kg/m^3

Gef Agrega karışımı efektif özgül ağırlığı, kg/m^3

K,İ,F Kaba, ince ve filler malzemenin kütlece yüzdeleri,

Gkz,Giz,Gfz Kaba, ince ve filler malzemenin zahiri özgül ağırlığı kg/m^3,

Gkh,Gih,Gfh Kaba, ince ve filler malzemenin hacim özgül ağırlığı kg/m^3

3.3.2 Bitümlü karışımın özgül ağırlığı

Bitümlü karışımın teorik maksimum yoğunluğu (Dt) ve Bitümlü karışımın bitüm emme yüzdesi (P_{BA}) olmak üzere iki farklı şekilde, denklem (3.4) ve denklem (3.5)'te gösterildiği gibi hesaplanır:

$$\mathrm{Dt} = \frac{100+\mathrm{P_B}}{\frac{100}{\mathrm{G_{ef}}}+\frac{\mathrm{P_B}}{\mathrm{q_B}}} \tag{3.4}$$

Burada;

Dt teorik maksimum özgül ağırlık, kg/m^3

PB agreganın kütlece yüzdesi olarak bitüm yüzdesi,

qB Bitümün yoğunluğu, kg/m^3

$$P_{Ba} = \frac{G_{ef}-G_{sb}}{G_{ef}*G_{sb}} * 100 * q_B \tag{3.5}$$

Hava boşluğu, (Va);

Bitümlü karışımlarda hava boşluğu aşağıda belirtildiği şekilde hesaplanır (Denklem 3.6).

$$V_a = \frac{D_t-D_p}{D_t} * 100 * q_B \tag{3.6}$$

Agregalar arası boşluk, (VMA);

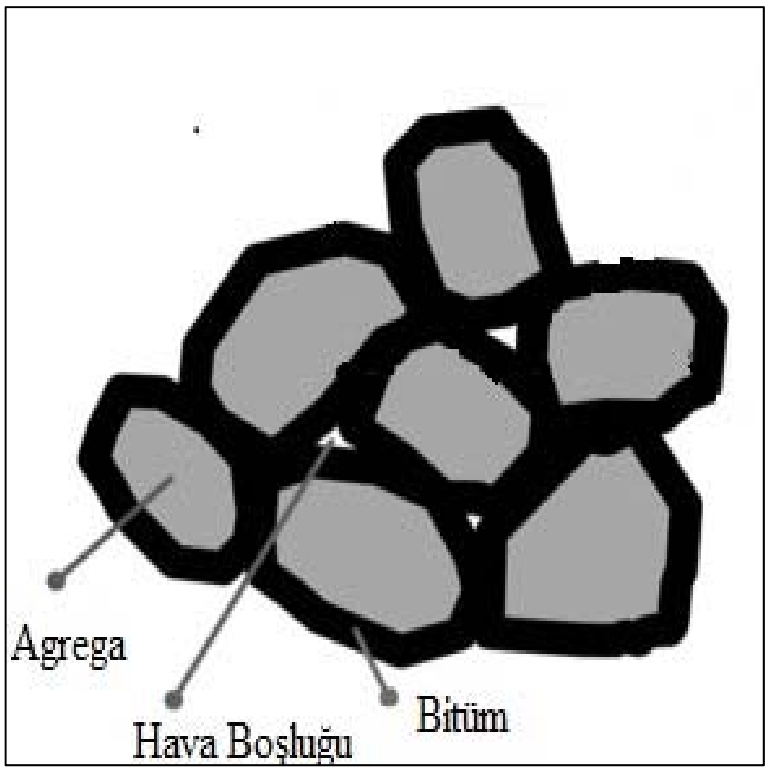
Şekil 3.6'da gösterildiği gibi Agreganın dışında kalan asfalt bağlayıcı ve sıkışmış havanın oluşturduğu başka bir tanımla karışımdaki agrega parçacıkları arasındaki boşluğu toplam karışım hacmine göre yüzde olarak ifade eder (Denklem 3.7).

$$\text{VMA} = 100 - \frac{Dp*P}{G_{sb}} \tag{3.7}$$

Burada;

Dp Karışımın hacim özgül ağırlığı, kg/m^3

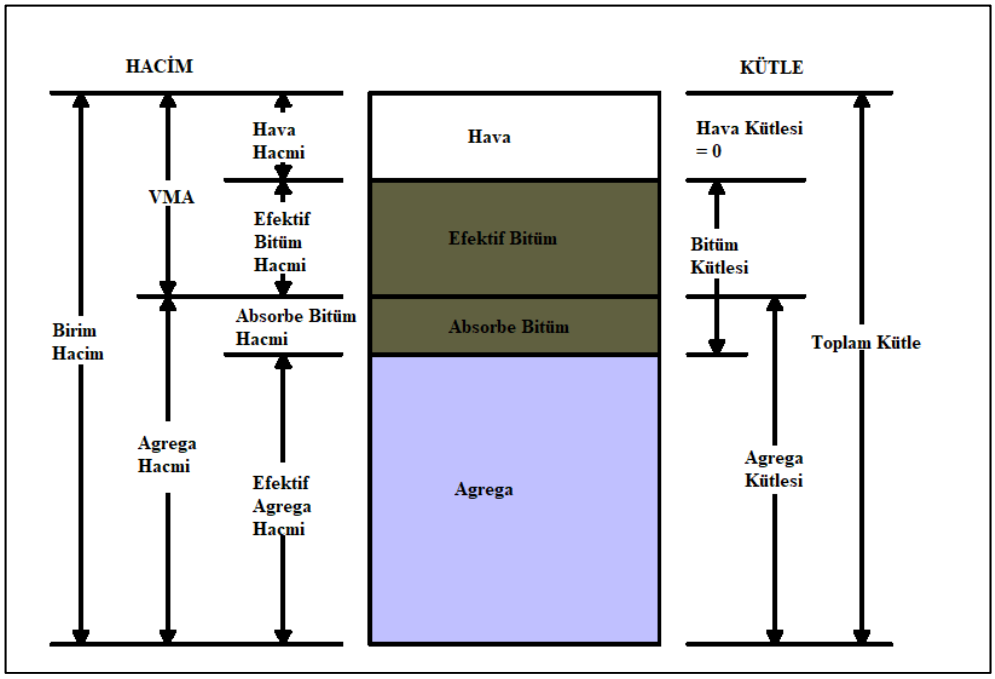
P Karışımın toplam kütlesi olarak agrega yüzdesi,



Şekil 3.6 Bitümlü karışım yapısı

Bitümle dolu boşluk, (VFA);

Şekil 3.7'de gösterildiği gibi agregalar arası boşluk içindeki efektif bitüm hacminin agregalar arası boşluk hacmine yüzde olarak oranıdır (Denklem 3.8).



Şekil 3.7 Bitümlü karışım şematik gösterimi

$$\text{VFA} = \frac{VMA - Va}{VMA} * 100 \qquad (3.8)$$

3.4 Taş Mastik Asfalt Karışım Malzemeleri Ve Deneyleri

Agregalar boyut olarak; No:4 (4,75 mm) elek üzerinde kalan malzemeye kaba agrega, No:4 (4,75 mm) elekten geçen ve No:200 (0.074 mm) elek üzerinde kalan malzemeye ince agrega, No:200 (0.0074 mm) elekten geçen malzeme mineral agrega veya filler olarak adlandırılır.

3.4.1 Kaba agrega ve özellikleri

Kaba agrega dayanıklı bağlayıcı malzeme ile kaplanmasını ve yapışmasını engelleyecek organik ve diğer zararlı maddelerden arındırılmış olmalıdır. Taş mastik asfalt karışımında kullanılacak kaba agregaların bazı ülkelere göre özellikleri Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.2 Kaba agrega özellikleri

	KGM	FHWA	UFGS	UK	AU
Parçalanma Direnci (Los Anges) % Kayıp	≤25	max30	Max 30	Max 30	<25 bazalt <35 diğerleri
Aşınma Direnci % Kayıp	≤20 *	-	-	-	-
Hava Tesirlerine Karşı Dayanıklılık($MgSO_4$) %	≤14	15/20	NA/18	Max 18	
Yassılık İndeksi, %	≤20	max20	Max 20	Max 25	Max 35
Cilalanma Değeri, %	50			*	
Kırılmışlık, Ağırlıkça,% Tüm yüzey kırılmış-yuvarlak	100-≤0	100/90 1/2 face	NA/100 1/2 face	-	
Soyulma Mukavemeti, %	≥60	-	-	Max 150 parçada 6 parça	Max 10
Su Emme, %	≤2	Max 2	Max 2	Max 2	Max 2
Yaş Mukavemet					Min 100kN
Yaş / Kuru Mukavemet Değişimi, %					Max 35
Aşınma Faktörü					Max 50

3.4.2 İnce agrega ve özellikleri

Temiz, dayanıklı olmalı ayrıca kil silt veya kil topakları ve zararlı bir malzeme içermeyen malzeme olmalıdır. Taş mastik asfalt karışımında kullanılacak kaba agregaların bazı ülkelere göre özellikleri Çizelge 3.3'te verilmiştir.

Çizelge 3.3 İnce agrega özellikleri

		KGM	FHWA	UFGS	UK	AU
Plastiste İndisi		N.P.	N.P.	N.P.	-	
Organik Madde		Negatif			-	
Su Emme, %		≤2	Max. 2	Max.2	Max. 2	Max. 2
Metilen M. g/kg	İnce mlz 0/2 mm	≤1,5			MB_FNR	
	Öğütülmüş mag. Malzeme 0/2 mm	≤3				
Hava Tesirlerine Karşı Dayanıklılık($MgSO_4$) %			15/20	-	Max. 18	
Sıkıştırılmamış boşluk içeriği, Metot A, %			-	Min.45		
Kum Eşdeğeri,%			-	Min. 45		
Likit Limit			25	25		
İnce Kısım İçeriği					F_{22}	
Soyulma Mukavemeti					Max 150 parçada 6 parça	

3.4.3 Mineral agrega (filler) ve özellikleri

Mineral agrega (filler) malzemesi plastik olmayacaktır. Malzeme kuru olacak aynı zamanda toprak, kil, organik madde veya diğer zararlı maddeler içermeyecektir. AASHTO standartlarında, yüzde 50'den fazla modifiye edilmiş Rigden boşluklarına sahip mineral dolguların Taş mastik asfaltta kullanılmamasını önerir.

3.4.4 Fiber stabilizatör ve özellikleri

Fiber stabilizatör, mineral veya selüloz elyaf olmalıdır. Küçük garanül halde pelet elyaflar da kullanılabilir. Taş mastik asfalt karışımında kullanılacak fiber stabilizatörün bazı ülkelere göre özellikleri Çizelge 3.4'de selüloz elyaf Çizelge 3.5'de ise mineral elyafın özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3.4 Selülozik elyaf özellikleri

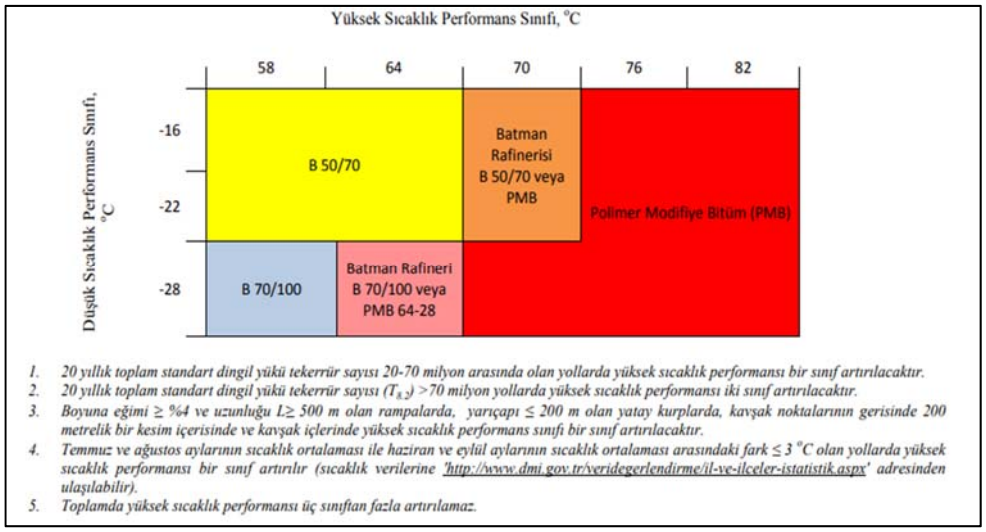
	KGM	FHWA	UFGS
Kül muhtevası	%18±%5		%18±%5
PH	7,5±%1		7,5±%1
Yağ Absorbsiyonu	Elyaf ağırlığının 5±1 katı		Elyaf ağırlığının 5±1 katı
Nem Absorbsiyonu	Ağırlıkça %5		Ağırlıkça %5
Elyaf uzunluğu			6 mm
Alpin Elek Analizi No:100 (0,15 mm) elekten geçen			%70 ± 10
Mesh Elek Analizi			
No 40 (0,425 mm) elekten geçen			%85 ± 10
No 60 (0,425 mm) elekten geçen			%65 ± 10
No 140 (0,106 mm) elekten geçen			%30 ± 10

Çizelge 3.5 Mineral elyaf özellikleri

	KGM	FHWA	UFGS
Fiber Uzunluğu	6 mm	6 mm	6 mm
Fiber Kalınlığı	-	0,005mm	0,005mm
No 40 (0,425 mm) elekten geçen	Min %95		-
No 60 (0,425 mm) elekten geçen	-	Min %90±5	Min %95
No 200 (0,075 mm) elekten geçen	Min%65		-
No 230 (0,063 mm) elekten geçen	-	Min%70± 10	Min%65

3.4.5 Bitümlü bağlayıcılar ve özellikleri

Taş mastik asfalt üretiminde kullanılacak bitüm standartlara uygun 40/60 veya 50/70 penetrasyona sahip bitüm veya polimer modifiye bitüm kullanılmalıdır. Ülkemizde yapılacak imalatlar bitüm sınıfı seçilirken Karayolları Genel Müdürlüğü'nce hazırlanan Bitüm Sınıfı Seçim Haritaları kullanılır. Karayolları Genel Müdürlüğü bitüm seçim tablosu aşağıdadır (Şekil 3.8).



Şekil 3.8 Bitüm seçim tablosu (KGM)

3.4.6 Agrega deneyleri

Elek Analizi

Agregaların tane büyüklüğü dağılımının tayini için referans yıkama ve kuru eleme yöntemleri kullanılır. Malzemeler bir elek serisi vasıtasıyla farklı tane büyüklüklerine ayrılmasıdır. Elek serileri talep edilen gradasyona göre belirlenir. Yıkama yönteminin hafif agregaların fiziksel özelliklerini etkilemesi durumunda kuru eleme yöntemi uygulanmalıdır.

Kuru malzeme elek serisine boşaltılır. Elek serisi göz açıklığı büyükten başlayacak şekilde birbirine geçirilmiş ve düzenlenmiş elekler, kapak ve tavadan oluşur. Tüm ince malzemenin yıkama ile bertaraf edilmediğinden dolayı elek serisinde 0,063 mm eleğin konulması gerekmektedir.

Tane Yoğunluğu ve Su emme oranın belirlenmesi

Yoğunluk, tane kütlesinin hacmine oranından hesaplanır. Kütle, etüvde sabit kütleye gelmiş malzemeyi tartarak bulunur. Hacim ise piknometre yönteminde yer değiştiren su kütlesi, tel sepet yönteminde ise malzeme kütlesinin değişimden hesaplanır.

Etüvde kurutulmuş agrega kütlesinin, taneler içindeki kapalı boşluklar dahil, suyun girebildiği boşluklar hariç hacmine oranına Görünür Tane Yoğunluğu (Hacim Özgül Ağırlığı), tane içindeki kapalı boşluklar ve suyun girebildiği boşlukların dahil edildiği hacme oranına ise Etüvde Kurutulmuş Haldeki Tane Yoğunluğu (Zahiri Özgül Ağırlık) denir.

Doygun kuru yüzey, kaba agregalarda doygun hale getirilen malzeme bir bez yardımıyla üzerindeki su film takası alınır. Ancak taneler hala rutubetli bir görünümde olduğu durumdur.

İnce agregalarda ise Abraham hunisi ile yapılan deneyde ise huni kaldırıldıktan sonra çökme meydana gelmesi durumu doygun kuru yüzeydir. Mineral agrega (filler) malzemesinde doygun kuru yüzey elde edilemez. Hacim özgül ağırlık ve zahiri özgül ağırlık eşit olarak alınır.

Malzemenin su emme oranı doygun kuru yüzey kütlesi ile etüvde kurutulmuş kütle farkının, etüvde kurutulmuş kütle farkına oranıdır.

Los Angeles aşınma deneyi (TS EN 1097-2)

Kaba agregaların parçalanmaya karşı dirençlerini belirlemek için kullanılan metottur. Deney sonu darbe ve aşınma neticesinde agrega tanelerinde meydana gelen aşınma ölçülmektedir. Malzeme kütlesi 10 mm ile 14 mm elek aralığında en az 5 kg'dır. Bu malzemenin %60-%70'i 12,5 mm elekten, %30-%40 'ı ise 11,2 mm elekten geçmelidir.

11 adet 400 ila 445 gr arasındaki demir bilgeler ile malzeme los angeles tamburuna konur ve 30-33 d/dk arasında sabit hızla 500 devir yaptırılır. Çıkan malzeme 1,6 mm elekten elenerek kanlan malzeme tartılarak aşınma oranı bulunur.

Yassılık İndeksi deneyi (TS EN 933-3)

Deney, iki aşamadan oluşmaktadır. İlk olarak çeşitli tane büyüklüğü aralıklarına deney elekleri kullanılarak ayrılır. Genişliği büyük aralığın yarısı kadar olan paralel aralıklara sahip olan çubuklu elekler kullanılarak elenir. Toplam yassılık endeksi, çubuklu eleklerden geçen tanelerin toplam kütlesi olarak hesaplanır ve deneye tabi tutulmuş tanelerin toplam kuru kütlesinin yüzdesi olarak ifade edilir.

Metilen mavisi deneyi (TS EN 933-9)

Deney 2 mm elekten geçen malzemenin barındırdığı kil minerallerini belirlemek için yapılır. Su ve malzemeden oluşan süspansiyona arka arkaya metilen mavisi ilave edilir. Boya çözeltisinin deney numunesi kısmı tarafından absorpsiyonu, her bir çözelti ilavesinden sonra, serbest boyanın varlığının belirlenmesi için süzgeç kâğıdında bir leke deneyi yapılarak kontrol edilir. Serbest boyanın varlığı teyit edildiğinde, metilen mavisi değeri (MB veya MBF) hesaplanır ve deneye tabi tutulan büyüklük aralığının beher kilogramı başına absorpladığı gram boya olarak ifade edilir.

3.4.7 Bitüm deneyleri

Penetrasyon Deneyi (TS EN 1426)

Deney, bitümün kıvam ve sertliğinin belirlenmesi için yapılmaktadır. Penetrasyon değerlerine göre farklı yöntemler uygulanmaktadır. Şartlandırılmış bir deney numunesine standart bir iğnenin 330 penetrasyon değerine sınıfına kadar olan numunelerde 25 ^{O}C de 5 saniye boyunca 100 gr yük, 330 penetrasyon değerini aşan numunelerde 15 ^{O}C de 5

saniye boyunca 100 gr yük yük uygulanması durumunda batma değerinin 0,1 mm olarak okunmasıyla bulunur.

Düktilite deneyi (TS EN 13589)

Deney, bitümlü bağlayıcının çekme özellikleri olan esneklik ve sünekliğini belirlemek için yapılır. Briket formu verilen numune 25ºC sıcaklıkta 50±2,5 mm/dakika sabit hızla su banyosu içerisinde çekilerek uzama miktarı ölçülür.

Elastik geri dönme deneyi (TS EN 13398)

Deney, bitümlü bağlayıcının elastik geri dönmesini belirlemek amacıyla yapılır. Numune 200 mm'ye kadar 25ºC sıcaklıkta 50±2,5 mm/dakika sabit hızla uzatıldıktan sonra ortadan kesilerek 30 dk. sonra parçalar arası mesafe ölçülerek elastik geri dönme hesaplanır.

Yumuşama noktası tayini deneyi (TS EN 1427)

Deney bitümün 28ºC ile 150ºC derece arasındaki yumuşama noktasının tayinidir. Bitüm 2 pirinç halkalara dökülür, yatay durumda her birinin üzerine bilye konur, numune kontrollü olarak ısıtılır. Bilyenin 25,0±4 mm'den deney sehpasına düştüğü anda ki sıcaklık yumuşama noktası olarak belirlenir.

Parlama noktası tayini (TS EN ISO 2592)

Deney, parlama noktası 79ºC - 400ºC aralığında bulunan bitümün Cleveland Açık Kabı yöntemiyle parlama ve yanma noktalarının belirlenmesidir. Parlama noktası, alev kaynağının numune buharını tutuşturduğu en düşük sıcaklık değerinin Yanma noktası ise alev kaynağının numune buharını tutuşturup en az 5 saniye yanmasını sürdürdüğü sıcaklığın 101,3 kPa basınca göre düzeltilmiş değerleridir.

Özgül ağırlık tayini deneyi (TS EN 15326+A1)

Deney, piknometre kullanarak bitümlü bağlayıcının yoğunluğunu ve özgül ağırlığının hesaplanmasında kullanılır. Piknometreye hacminin yaklaşık 3/1 oranında bitüm doldurulur piknometre tıpası takılarak tartılır sonra piknometre içi saf su doldurulup tartılarak yoğunluk ve özgül ağırlık hesaplanır.

Dönmeli ince film etüvü deneyi (RTFOT) (TS EN 12607-1)

Deney, bitümün ince bir film tabakasına hava ve sıcaklığın birlikte etkisini ölçmek amacıyla yapılır. Hareketli bir bitümlü bağlayıcı film, sabit bir hava beslemesi ile belirli bir süre boyunca bir fırında belirli bir sıcaklığa kadar ısıtılır. Isı ve havanın etkileri kütledeki değişime (yüzde olarak ifade edilir) veya bitümlü bağlayıcının penetrasyon, yumuşama noktası veya dinamik viskozite gibi özelliklerindeki değişime göre belirlenir. Bu koşullandırmanın referans sıcaklığı 163ºC'dir.

İnce film halinde ısıtma kaybı deneyi (TS EN 12607-2)

Deney, bitüm veya bitümlü bağlayıcı film üzerindeki ısı ve havanın birleşik etkilerini ölçmek için yapılır. Sıcaklık ve havadan kaynaklı etkileri kütlede ki değişime ya da bitümlü bağlayıcının kinematik viskozite özelliklerinde ki değişime göre belirlenir.

4. MATERYAL VE METOT

Asfalt karışımı, büyük ölçüde iki ana bileşenden oluşan kompozit bir malzemedir; agrega ve bitümlü bağlayıcı malzeme. Bu bölümde, kullanılan agregaların ve bitümlü bağlayıcı malzemelerin özellikleri belirtilmektedir. Ayrıca yapılan deneylerin laboratuvar süreçleri belirtilmektedir.

4.1 Agregalar

Yapılan çalışmada 4 farklı agrega kullanılmıştır. Agregaların seçimi yapılırken farklı yapısal özellikleri bulunan agregalar seçilmiştir. Bu agregalar;

Sert agrega; bazalt
Özgül ağırlığı nispeten düşük sert agrega; bazalt
Su emmesi düşük; kalker
Mineral agrega olarak kalker malzemeleri kullanılmıştır (Şekil 4.1).



Şekil 4.1 Karışım agregaları

Deneyde kullanılan tüm agregalar gradasyonda sapma olmaması amacıyla 24 saat suda bekletilmiş, No:200 elekten yıkanarak mineral malzemeden arındırılmıştır. Tüm

agregalar 3/4“ (19,1 mm), 1/2” (12,7 mm), 3/8” (9,52 mm), No:4 (4,76 mm), No:10 (2 mm), No:40 (0,42 mm), No:80 (0,177 mm) ve No:200 (0,074 mm) eleklerden elenerek kullanılacak elek fraksiyonlarına ayrılmıştır (Şekil 4.2).

Yapılan çalışmalarda genel olarak Bazalt-II malzemesi kullanılmış olup, karşılaştırma yapılan durumlarda diğer agregalar kullanılmıştır. Agregalara aşağıda belirtilen deneyler yapılmıştır.



Şekil 4.2 Derecelendirilmiş agregalar

Özgül ağırlık deneyi :

Deney TS EN-1097-6’ ya göre piknometre yöntemi ile yapılmıştır (Şekil 4.3, Şekil 4.4).

$$\text{Hacim Özgül Ağırlık} = \frac{\mathrm{M4}}{\mathrm{M1}-(\mathrm{M2}-\mathrm{M3})}\rho\mathrm{w} \tag{4.1}$$

$$\text{Zahiri Özgül Ağırlık} = \frac{\mathrm{M4}}{M4-(M2-M3)}\rho w \tag{4.2}$$

$$\text{Su Emme Oranı (\%)} = 100\mathrm{x}\frac{\mathrm{M1}-\mathrm{M4}}{\mathrm{M4}} \tag{4.3}$$

Burada;

M1 24 saat sonra doygun ve yüzeyi kuru agrega kütlesi (g),

M2 24 saat sonra piknometre+huni+su+doygun agrega kütlesi (g),

M3 Piknometre+huni+su kütlesi (g),

M4 Kuru agrega kütlesi



Şekil 4.3 Piknometre özgül ağırlık deneyi



Şekil 4.4 İnce ve kaba malzemede doygun kuru yüzey durumu

Denklem (4.1), denklem (4.2) ve denklem (4.3)'e göre hesaplanan değerler çizelge 4.1'de görülmektedir:

Çizelge 4.1 Özgül ağırlık deney sonuçları

	Bazalt-1		Bazalt-II		Kalker		Filler Malz. (Kalker)
	Kaba	İnce	Kaba	İnce	Kaba	İnce	
Hacim Özgül Ağırlık gr/cm3	2,65	2,66	2,56	2,57	2,68	2,69	2,67
Zahiri Özgül Ağırlık, gr/cm3	2,79	2,79	2,67	2,69	2,72	2,72	2,67
Su Emme Oranı, %	1,90	1,75	1,61	1,73	0,55	0,41	

Los Angeles Parçalanma Direnci; TS-EN 1097-0' ya göre yapılmıştır (Şekil 4.5).



Şekil 4.5 Los Angeles test cihazı

Hava Tesirlerine Karşı Mukavemet $MgSO_4$ Sağlamlık Tayini; TS EN 1367-02' ye göre yapılmıştır (Şekil 4.6).



Şekil 4.6 Hava tesirlerine karşı mukavemet cihazı

Micro Deval Aşınma Direnci; TS-EN 1097-01 'e göre yapılmıştır (Şekil 4.7).



Şekil 4.7 Mikro Deval test cihazı

Metilen Mavisi Değeri; TS EN 933/9 ‘a göre yapılmıştır (Şekil 4.8).



Şekil 4.8 Metilen Mavisi deneyi

Çizelge 4.2’de kullanılan agregalara dair deneyler sonucunda elde edilen değerler görülmektedir:

Çizelge 4.2 Agrega deney sonuçları

	Bazalt-1	Bazalt-2
Los Angeles Aşınma Direnci %	11,8	13,7
Mikro Deval Aşınma Direnci %	9,7	10,3
Metilen Mavisi g/100g	3	3
Yassılık İndeksi	12	14,5
Hava Tesirlerine Karşı Mukavemet %	7,02	7,12

Bitümlü Bağlayıcılar

Yapılan çalışmalarda 50/70 penetrasyon sınıfı bitümün ağırlıkça % 4,5 kraton malzemesiyle modifiye edilmiş PG76-22 sınıfı tek tip bitüm kullanılmıştır. Polimer modifiye bitüme yönelik yapılan deneyler aşağıdadır.

Özgül Ağırlık Deneyi; TS EN 15326 'ya göre,
Penetrasyon Deneyi; TS EN 1426 'ya göre,
Yumuşama Noktası Deneyi; TS EN 1427 'ye göre,
Düktilite Deneyi ASTM 113 'e göre,
Elastik Geri Dönme Deneyi; TS EN 13398 'e göre,
Dönmeli İnce Film Etüvü Deneyi; TSE EN 12607/1 'e göre yapılmıştır (Çizelge 4.3).

Çizelge 4.3 Bitümlü bağlayıcı deney sonuçları

Özgül Ağırlık (gr/cm^3)	1,03
Penetrasyon (0,1 mm)	30,5
Yumuşama Noktası (C°)	75,6
Duktile (cm)	100+
Elastik Geri Dönme Deneyi (%)	83,5
Dönmeli İnce Film Etüvü Kütle Kaybı (% kayıp)	0,14
Yaşlanma Sonrası Penertasyon (0,1 mm)	21,4
Yaşlanma Sonrası Yumuşama Noktası (C°)	79,5

Elyaf stabilizör

Elyaf stabilizör olarak viatop Premium peletler kullanılmıştır (Şekil 4.9). Viatop Premium bu tür etkenlere karşı koyarak iskelet yapısını güçlendirmekte, bitümün agrega ile daha iyi aderansını sağlamaktadır (Saedi 2019).



Şekil 4.9 Fiberin parçalanması

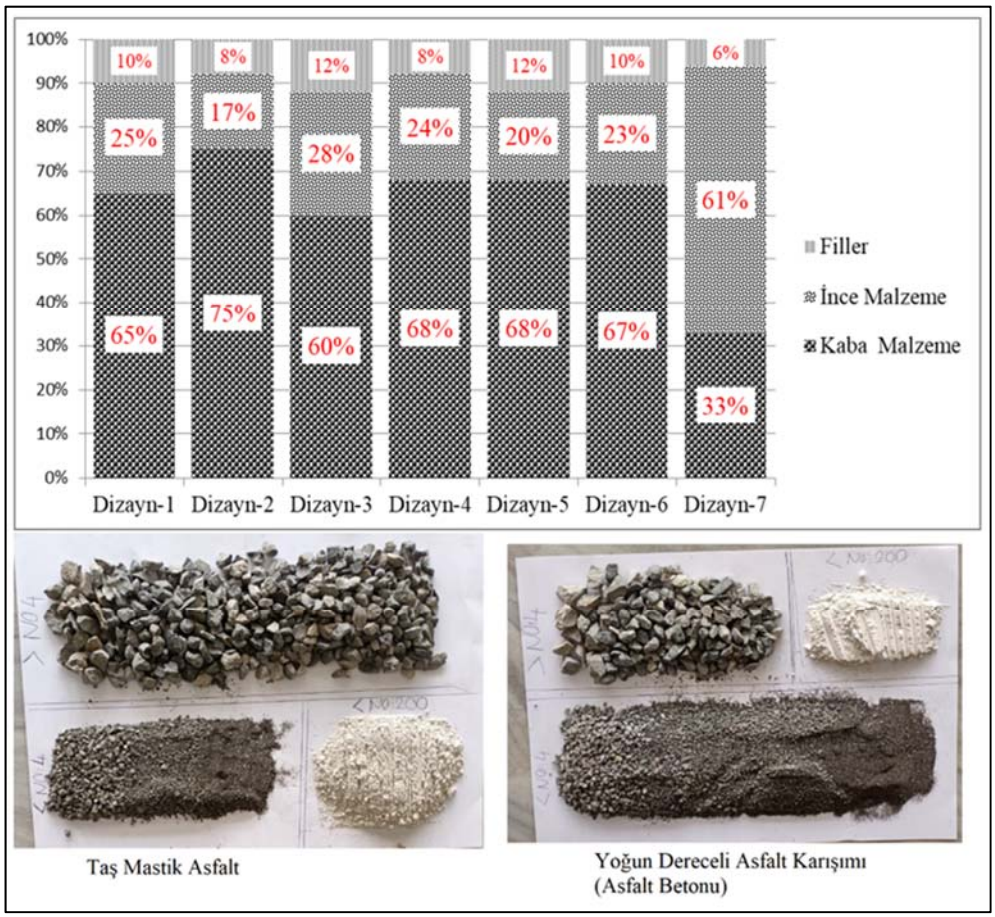
Çizelge 4.4 Schellenberger bitüm süzülme deneyi sonuçları

Numune No	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
Bitüm cinsi	PMB 76-22	PMB 76-22	PMB 76-22	PMB 76-22	PMB 76-22	PMB 76-22
% Bitüm	6,50	6,50	6,50	6,50	6,50	6,50
Agrega Miktarı.(gr)	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0
Bitüm.(gr)	65,0	65,0	65,0	65,0	65,0	65,0
Fiber Cinsi	Viatop	Viatop	Viatop	Viatop	Viatop	Viatop
‰ Fiber	3,0	3,0	3,0	3,5	3,5	3,5
Fiber.(gr)	3,20	3,20	3,20	3,73	3,73	3,73
Boş Beher Ağırlığı.(gr)	281,9	262,3	288,4	250,3	278,6	266,9
Beher+Numune Ağırlığı.(gr)	1325,7	1312,8	1340	1303,5	1332,5	1330
Numune Ağırlığı.(gr)	1043,8	1050,5	1051,6	1053,2	1053,9	1063,1
Son Beher Ağırlığı.(gr)	284,7	264,9	291,4	252,2	280,6	268,8
Fark.(gr)	2,8	2,6	3	1,9	2	1,9
Süzülme.%	0,27	0,25	0,29	0,18	0,19	0,18
Ortalama	**0,27**			**0,18**		

Viatop Premium peletler yapılan süzülme deneyi sonucu (Çizelge 4.4), en uygun oran olarak % 0.35 tespit edilerek, tüm taş mastik karışımlarda bu oran kullanılmıştır.

4.2 Agrega Gradasyon Tasarımları

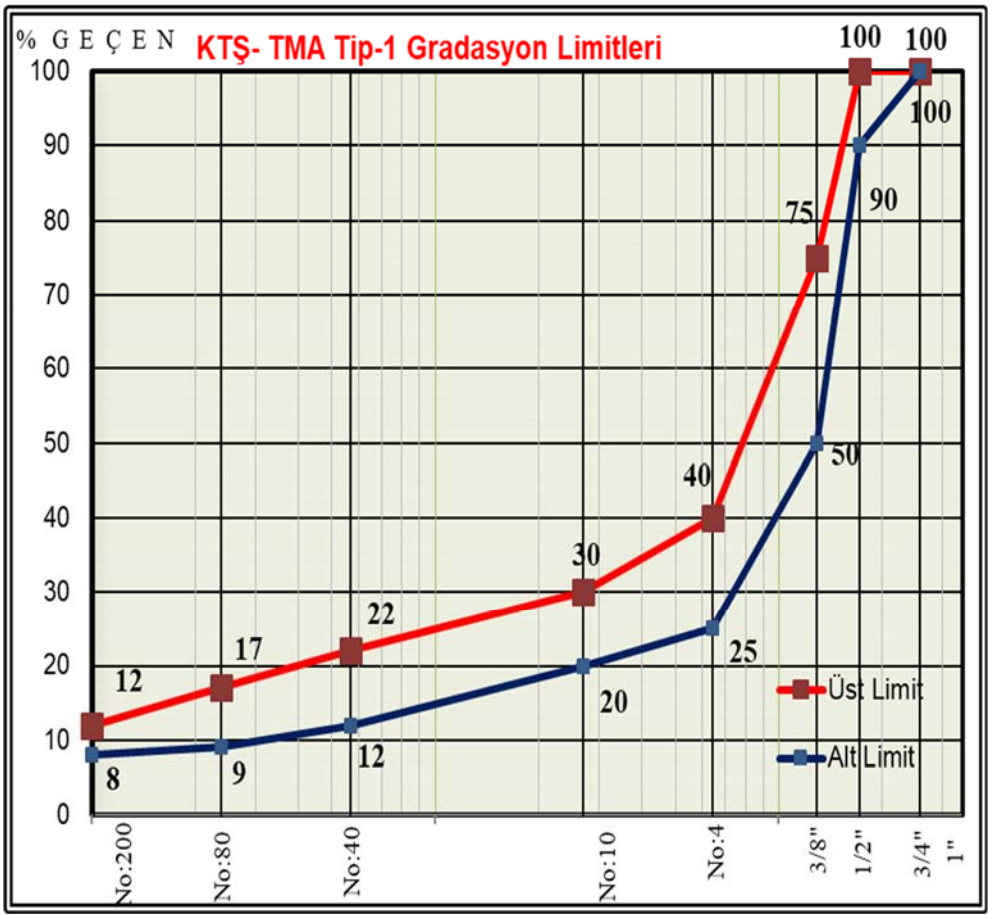
Bu çalışmanın amacı aynı bitüm oranında aynı malzemenin farklı gradasyonlardaki karışımları, farklı bitüm oranında aynı malzemenin aynı gradasyondaki karışımları, aynı bitüm oranında aynı gradasyonda aynı kaba malzeme ile farklı ince malzeme karışımları tasarlayarak en uygun malzeme ve gradasyonu Marshall stabilitesi sonuçlarına göre değerlendirmektir (Şekil 4.10).



Şekil 4.10 Çalışma gradasyonları

Çizelge 4.5'te alt ve üst limitleri belirtilerek tasarlanan gradasyonlar, Karayolları Genel Müdürlüğü'nün Karayolları Genel Şartnamesinin TMA Tip-1 gradasyonu baz olarak

alınmıştır (Şekil 4.11). KTŞ gradasyonu limitleri havaalanlarında TMA kullanan diğer ülkelerin gradasyonlarıyla paralellik göstermektedir. Kullanılan gradasyonlar Ek-1 ‘de gösterilmiştir.



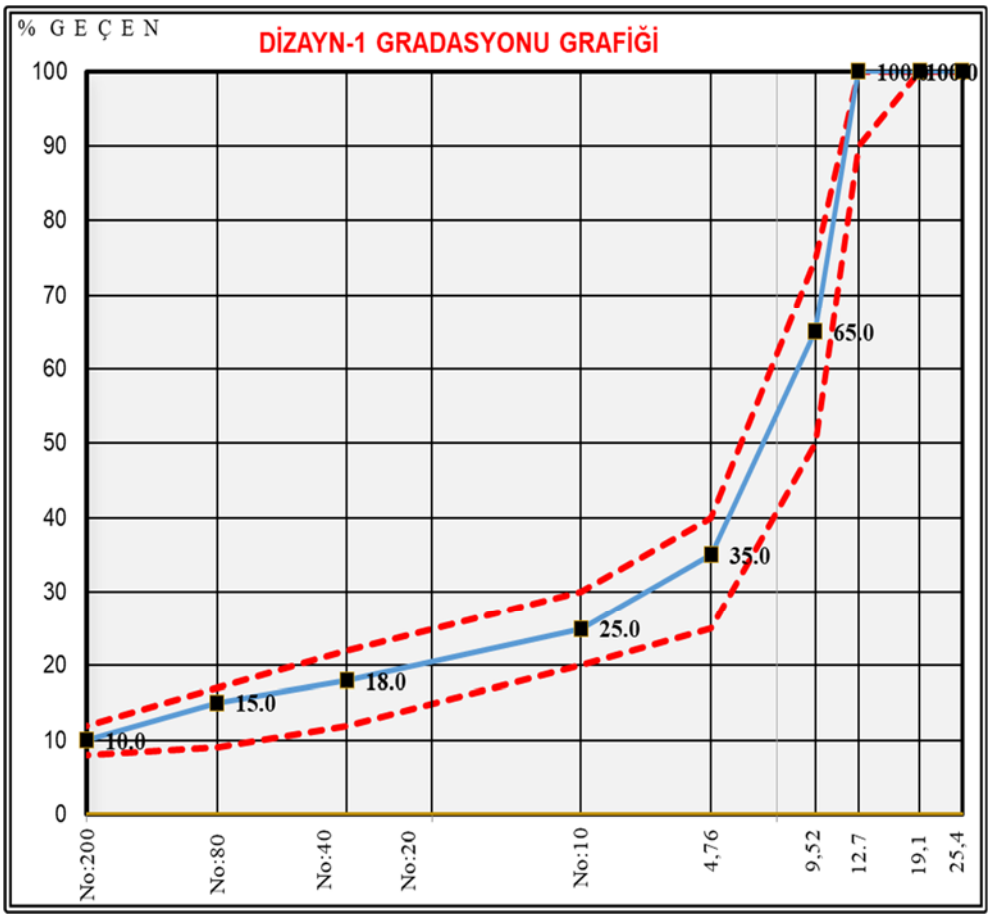
Şekil 4.11 KTŞ TMA Tip-1 min ve max şartname limitleri grafiği

Çizelge 4.5 KTŞ TMA Tip Min ve Max Şartname Limitleri

Elek Boyutu	1"	3/4"	1/2"	3/8"	NO:4	NO:10	NO:40	NO:80	NO:200
Min	100	100	90	50	25	20	12	9	8
Max	100	100	100	75	40	30	22	17	12

4.2.1 Dizayn-1 gradasyonu

Yapılan ilk tasarım Dizayn-1 tasarımıdır (Şekil 4.12). Bazalt-I ve Kalker malzemeleri için yapılmış olup filler olarak kalker kullanılmıştır. İki farklı malzeme için gradasyon aynıdır (Çizelge 4.6).



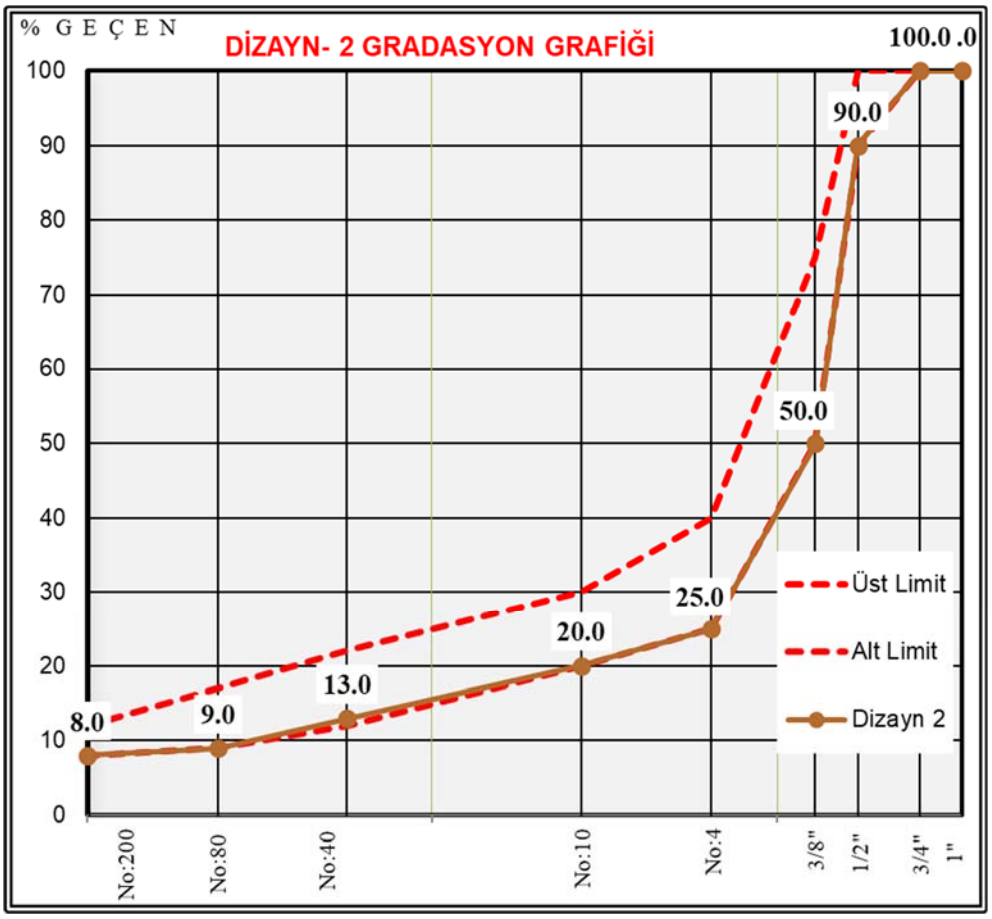
Şekil 4.12 Dizayn-I gradasyon grafiği

Çizelge 4.6 Dizayn-1 Elek analizi

Elek Boyutu	1"	3/4"	1/2"	3/8"	NO:4	NO:10	NO:40	NO:80	NO:200
Min	100	100	90	50	25	20	12	9	8
Max	100	100	100	75	40	30	22	17	12
Dizayn1	100	100	100	65	35	25	18	15	10

4.2.2 Dizayn-2 gradasyonu

Dizayn-2 olarak tasarlanan karışımda (Şekil 4.13); Bazalt-II malzemesinin KTŞ alt limitlerinde bir gradasyona sahip olması durumunda karışımın farklı bitüm içeriklerinde limit değerlerine bakılmıştır (Çizelge 4.7).



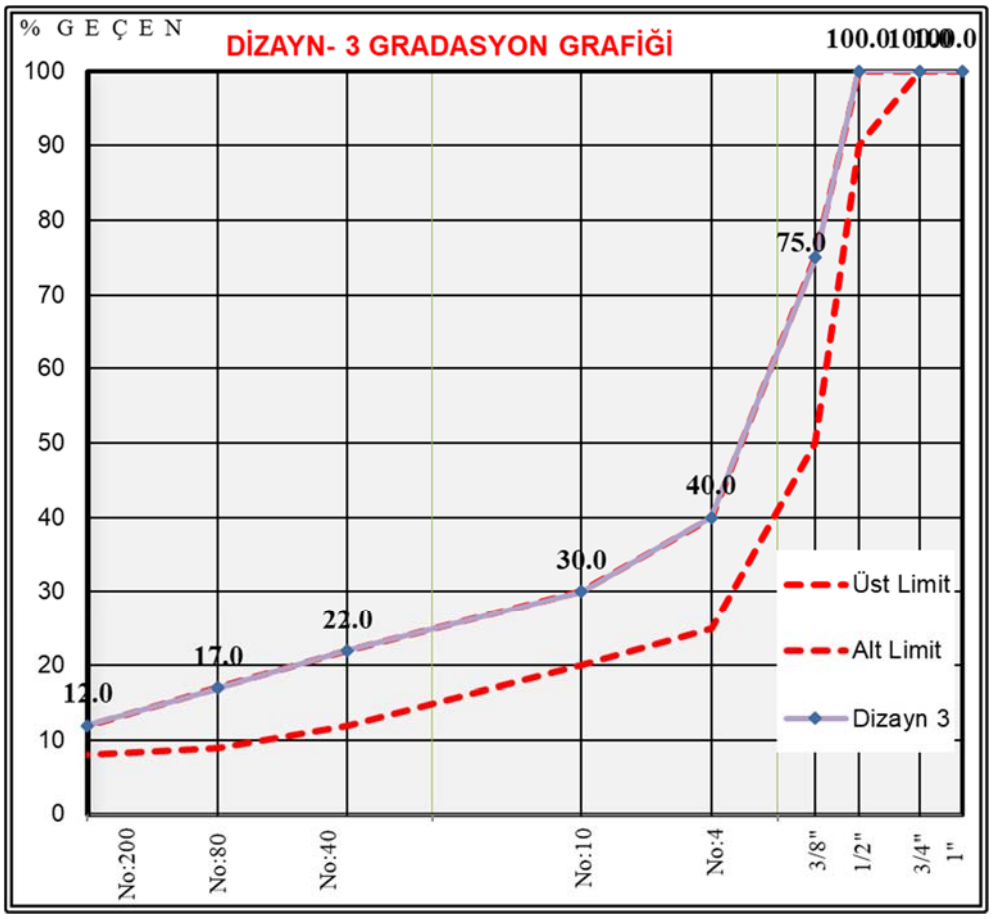
Şekil 4.13 Dizayn-2 gradasyon grafiği

Çizelge 4.7 Dizayn-2 Elek analizi

Elek Boyutu	1"	3/4"	1/2"	3/8"	NO:4	NO:10	NO:40	NO:80	NO:200
Min	100	100	90	50	25	20	12	9	8
Max	100	100	100	75	40	30	22	17	12
Dizayn2	100	100	90	50	25	20	12	9	8

4.2.3 Dizayn-3 gradasyonu

Dizayn-3 olarak tasarlanan karışımda (Şekil 4.14); Bazalt-II malzemesinin KTŞ üst limitlerinde bir gradasyona sahip olması durumunda karışımın farklı bitüm içeriklerinde limit değerlerine bakılmıştır (Çizelge 4.8).



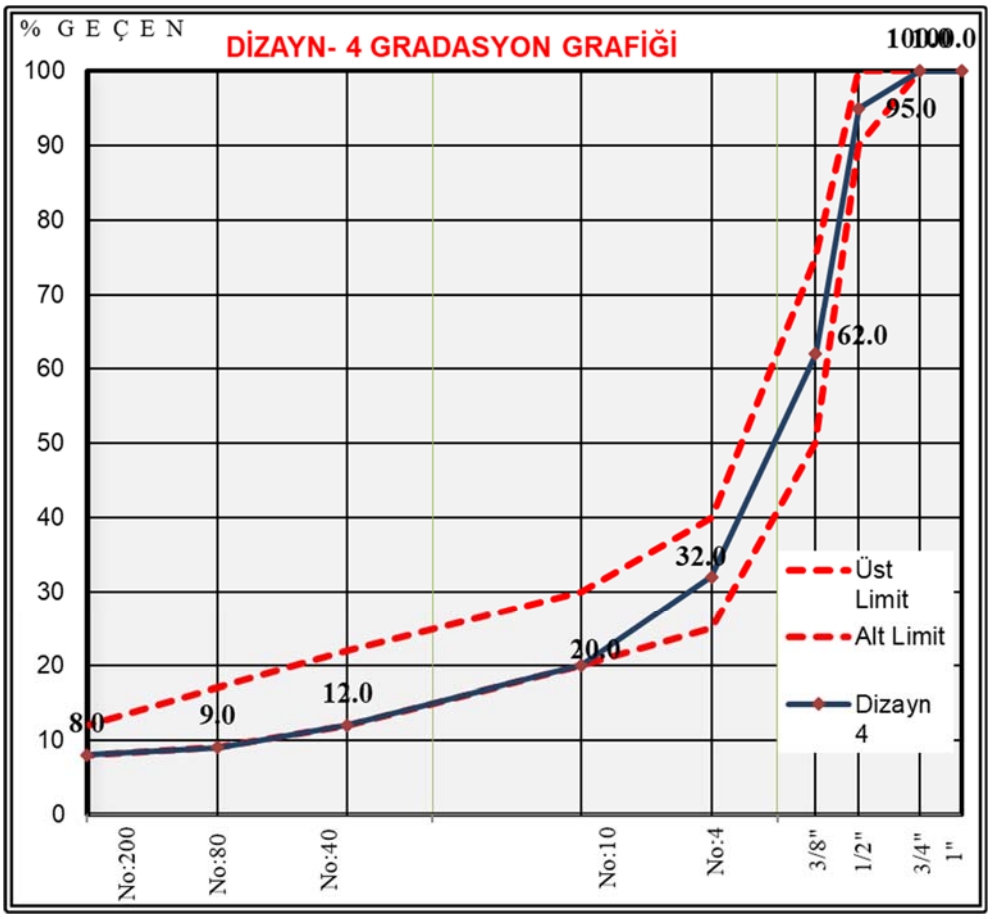
Şekil 4.14 Dizayn-3 gradasyon grafiği

Çizelge 4.8 Dizayn-3 Elek analizi

Elek Boyutu	1"	3/4"	1/2"	3/8"	NO:4	NO:10	NO:40	NO:80	NO:200
Min	100	100	90	50	25	20	12	9	8
Max	100	100	100	75	40	30	22	17	12
Dizayn-3	100	100	100	75	40	30	22	17	12

4.2.4 Dizayn-4 gradasyonu

Dizayn-4 tasarımda (Çizelge 4.9), aynı bitüm içeriğinde, kaba agregası limit ortalaması olan karışımın ince malzeme olarak kalker ve bazalt-II malzemeleri kullanılmıştır. Kullanılan ince agrega şartname alt limit değerlerindedir (Şekil 4.15).



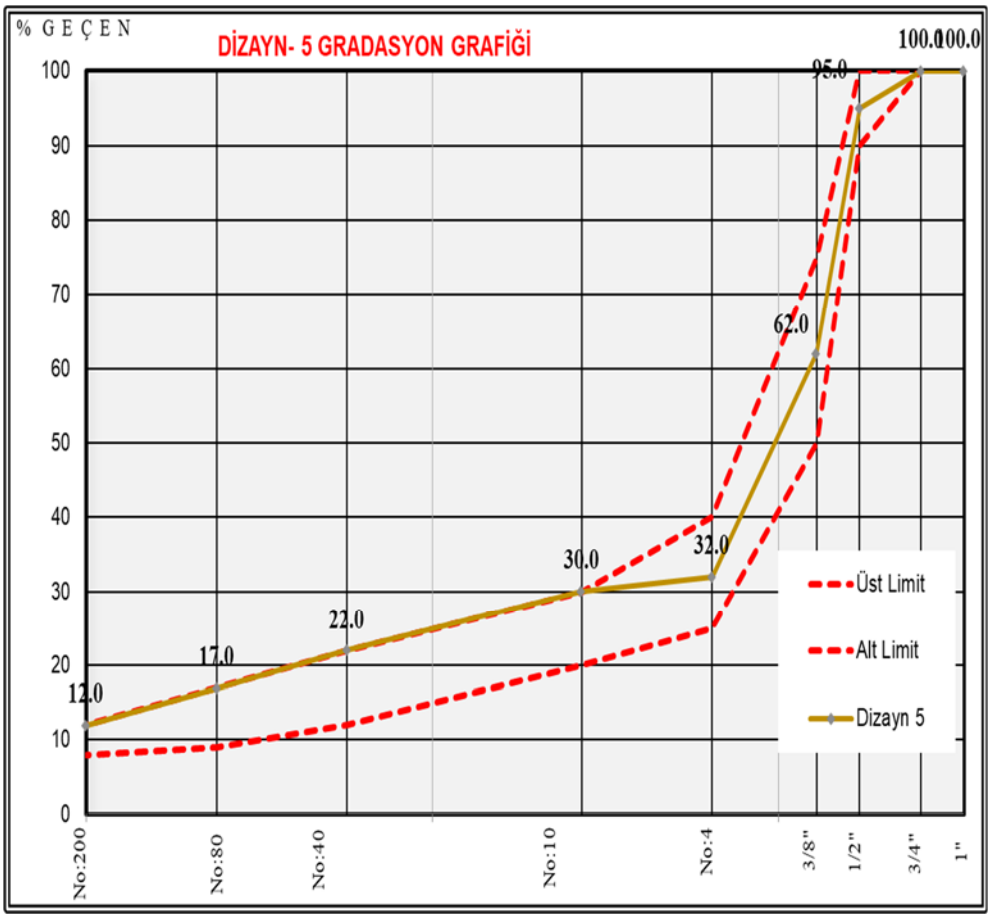
Şekil 4.15 Dizayn-4 gradasyon grafiği

Çizelge 4.9 Dizayn-4 Elek analizi

Elek Boyutu	1"	3/4"	1/2"	3/8"	NO:4	NO:10	NO:40	NO:80	NO:200
Min	100	100	90	50	25	20	12	9	8
Max	100	100	100	75	40	30	22	17	12
Dizayn-4	100	100	95	62	32	20	12	9	8

4.2.5 Dizayn-5 gradasyonu

Dizayn-5 tasarımda (Çizelge 4.10), aynı bitüm içeriğinde (%6,5) kaba agregası limit ortalaması olan karışımın ince malzeme olarak kalker ve bazalt-II malzemeleri kullanılmıştır. Kullanılan ince agrega şartname üst limit değerlerindedir (Şekil 4.16).



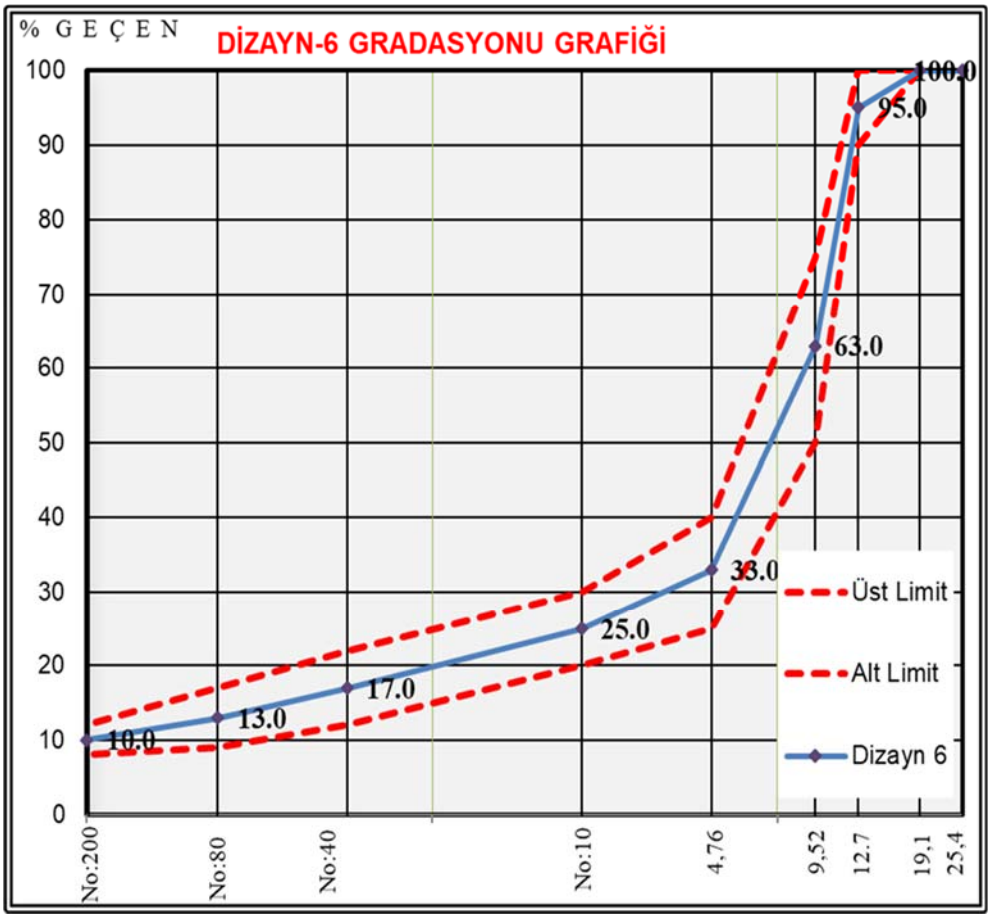
Şekil 4.16 Dizayn-5 gradasyon grafiği

Çizelge 4.10 Dizayn-5 Elek analizi

Elek Boyutu	1"	3/4"	1/2"	3/8"	NO:4	NO:10	NO:40	NO:80	NO:200
Min	100	100	90	50	25	20	12	9	8
Max	100	100	100	75	40	30	22	17	12
Dizayn-5	100	100	95	62	32	30	22	17	12

4.2.6 Dizayn-6 gradasyonu

Dizayn-6 gradasyonunda (Çizelge 4.11), aynı bitüm içeriğinde (% 6,5) şartname limitlerinin ortalaması bir gradasyonda bazalt ve kalker malzemelerinin hem birbirleri içerisinde hem de malzeme bazlı olarak kür işlemine tabi tutulan ve tutulmayan malzemelerin limit değerlerinin karşılaştırılmasını içermektedir (Şekil 4.17).



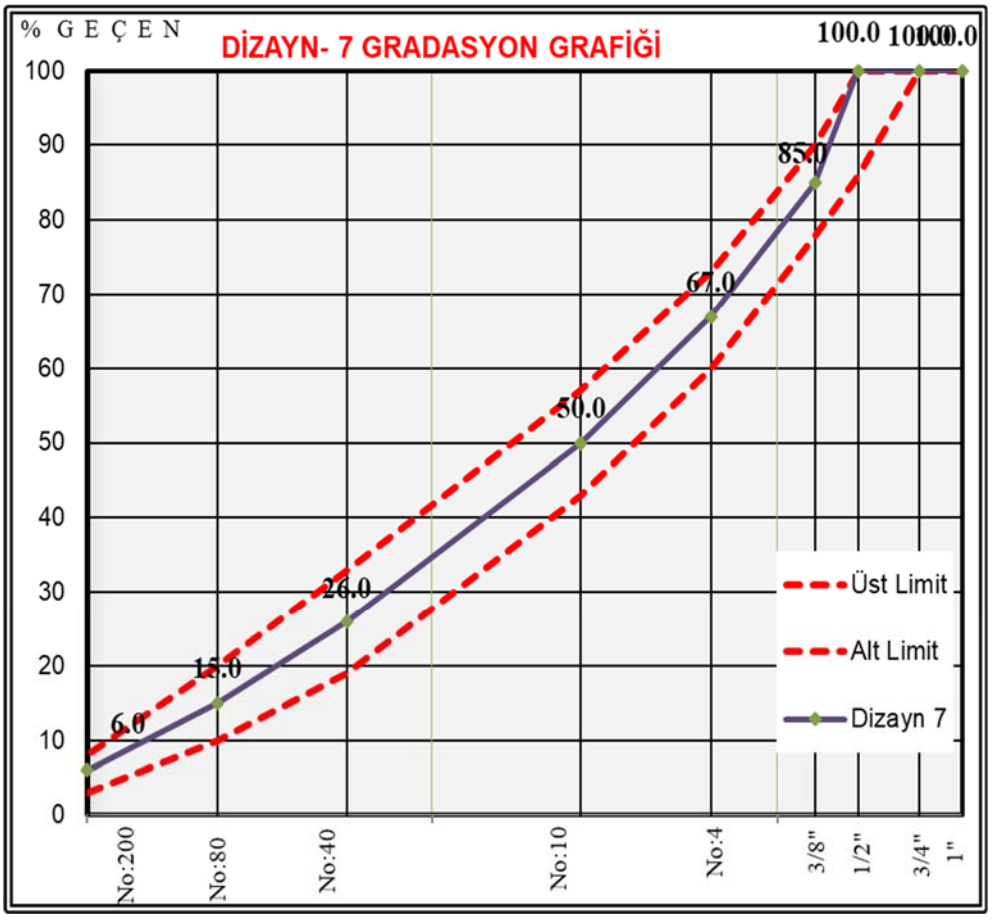
Şekil 4.17 Dizayn-6 gradasyon grafiği

Çizelge 4.11 Dizayn-6 Elek analizi

Elek Boyutu	1"	3/4"	1/2"	3/8"	NO:4	NO:10	NO:40	NO:80	NO:200
Min	100	100	90	50	25	20	12	9	8
Max	100	100	100	75	40	30	22	17	12
Dizayn-6	100	100	95	63	33	25	17	13	10

4.2.7 Dizayn-7 gradasyonu

Dizayn-7 olarak yapılan bu karışımda (Çizelge 4.12), asfalt beton aşınma tabakası kalker malzemesi ile Ulaştırma Bakanlığı Beton Asfalt Binder Ve Aşınma (Satıh) Tabakası Kaplama Teknik Şartnamesi Şartname No: 8-RV tablo-4 d sınıfı gradasyon limitlerinin ortalaması alınarak değerlendirilmiştir (Şekil 4.18).



Şekil 4.18 Dizayn-7 gradasyon grafiği

Çizelge 4.12 Dizayn-7 Elek analizi

Elek Boyutu	1"	3/4"	1/2"	3/8"	NO:4	NO:10	NO:40	NO:80	NO:200
Min	100	89	78	69	55	42	22	14	4
Max	100	100	90	83	70	56	33	22	8
Dizayn-7	100	100	100	85	67	50	26	15	6

4.3 Asfalt Karışım Tasarımı

Yapılan çalışmada ki tüm numuneler TS EN 12967-30 standardında belirtildiği şekilde Marshall tasarım yöntemine göre hazırlanmıştır. Tasarım karışımları 1150 gr agrega malzemesi olacak şekilde hazırlanmıştır. Tasarımda kullanılan elyaf miktarı (Şekil 4.19), süzülme deneyi neticesinde toplam karışım malzemesinin % 0,35'i olacak şekilde karışıma eklenmiştir.



Şekil 4.19 Viatop premium fiber

Tasarımda kullanılan tüm ekipmanlar karışım sıcaklığını olumsuz etkilememesi açısından mikser kazanı, kürekler, moldlar sıkıştırma başlıkları, taban elemanı ve şişler başka bir etüvde yaklaşık 105ºC sıcaklığa kadar ısıtılıp bu sıcaklık her malzemenin kullanımına kadar muhafaza edilmiştir.

4.4 Asfalt Karışımın Hazırlanması

Kuru haldeki agrega malzemesi tasarım gradasyonuna göre her fraksiyon tartılarak bir tepsiye alınmıştır. Agrega malzemesi 24 saat boyunca karıştırma sıcaklığının yaklaşık 10-15ºC üzerinde bir sıcaklıkta (yaklaşık 175 ºC) etüvde bekletilmiştir (Şekil 4.20). Kullanılacak olan bitüm ise ortalama 4 saat boyunca etüvde karıştırma sıcaklığında bekletilmiştir.



Şekil 4.20 Karışım agregaları kurutulması

24 saat bekletilen agrega malzemesi tekrar tartılarak herhangi bir malzeme kaybının olup olmadığı kontrol edilerek mikser kazanına alındı. Kazan miksere yerleştirilip mevcut sıcaklığı muhafaza edilmesi amacıyla ısı kaynağı üzerine yerleştirilip içerisine belirtilen miktarda elyaf katılarak düşük hızda karıştırılmıştır. Karıştırma süresi elyaf malzemesinin tamamen dağılarak agrega üzerini örtünceye kadar 45-50 saniye boyunca devam ettirilmektedir.

Üretici firma tarafından belirtilen karıştırma sıcaklığına kadar ısıtılan (ortalama160-165 ºC) bitüm agrega ve elyaf karışımı üzerine eklenir. Karışım mikserde sıcaklık muhafaza edilerek ortalama 2 dakika boyunca karıştırıldı (Şekil 4.21).



Şekil 4.21 Mikser

Karışım, daha önce yağlanmış olan sıkıştırma kalıbı içerisine segregasyon olmayacak şekilde yerleştirildi (Şekil 4.22). Üst kısmı düzlenip filtre kâğıdı ile sıkıştırma başlığı takılarak otomatik Marshall sıkıştırma cihazına yerleştirilir (Şekil 4.23 (a), (b), (c), (d)).



Şekil 4.22 Marshall kalıpları

Numunenin her iki yüzeyine 50'şer darbe vuruldu. TMA harici sıcak karışımda her iki yüze 75 'er darbe vuruldu.



Şekil 4.23 (a), (b), (c), (d) Marshall tokmağı

Briketler cihazdan çıkarılarak filtre kâğıdı, sıkıştırma başlığı ve taban elemanı çıkarılıp sıkıştırma kalıbı ile laboratuvar ortamında 24 saat soğumaya bırakıldı (Şekil 4.24). Bu işlemler sırasında briketlerin zarar görmemesine özen gösterildi. Briketler 24 saatin sonunda cihaz yardımıyla zarar görmeden çıkarıldı.



Şekil 4.24 Soğumaya bırakılan briketler

4.5 Karışım Briketlerine Yapılan Testler

Briket yüksekliğinin belirlenmesi; kalıplardan çıkarılan Marshall briketlerinin yükseklikleri en az üç ölçüm olacak şekilde belirlenir. Yapılan ölçümlerin eşit aralıklarla yapılmasına dikkat edilir. Yapılan tüm ölçümlerin ortalaması briket yüksekliği olarak kaydedilmiştir.



Şekil 4.25 Su içerisinde briketlerin tartılması

Hacim özgül ağırlığın belirlenmesi; Marshall briketleri laboratuvar ortamında havada ki kuru ağırlığı tartılır. Numune su içinde bekletilir ve sudaki ağırlığı tartılır (Şekil 4.25). Sudan çıkarılan numune havlu yardımıyla doygun kuru yüzey haline getirilerek tartılıp, briketin, doygun kuru yüzey ağırlığından sudaki ağırlığı çıkarılarak hacmi bulunur. Kuru ağırlığın hacme bölünmesi ile briketin hacim özgül ağırlığı hesaplanmıştır. Teorik maksimum özgül ağırlığın belirlenmesi; 100 gr agrega malzemesi ve bu miktar için gereken bitüm miktarı toplamının, agrega ağırlığının (100 gr) agrega efektif yoğunluğuna oranı ile bitüm ağırlığının bitüm yoğunluğuna oranın toplamına bölünmesi ile bulunmuştur.

Agrega karışımı ile briketlerin hacim özgül ağırlıkları ve o briketin teorik maksimum özgül ağırlık sonuçları ile brikete ait boşluk analizleri (hava boşluğu, mineral agregalar arası boşluk, bitümle dolu boşluk yüzdesi) yapılmış ve ilgili grafikler çizilmiştir.

Marshall briketlerine ekstraksiyon yapılması; aynı bitüm içeriğine sahip bazalt II ve kalker malzemesi ile hazırlanan briketlere ekstraksiyon deneyi yapılarak Marshall

sıkıştırma cihazı ile vurulan darbe sonucu kaba malzemede meydana gelen parçalanma neticesinde oluşan yeni gradasyon değerlendirilmesi yapılmıştır (Şekil 4.26).



Şekil 4.26 Ekstraksiyon deneyi

Akma ve stabilite değerlerinin belirlenmesi; hacimsel özellikleri belirlenen briketler 60 ^{o}C su banyosunda 30 ila 40 dakika bekletilir (Şekil 4.27). Su banyosundan çıkarılan numuneler havlu yardımıyla hızlıca üzerindeki sular uzaklaştırılarak Marshall stabilite cihazına yerleştirilir.

(50 ± 2) mm/dak'lık sabit bir deformasyon hızında yükleme yapılır. Yük ölçüm cihazında maksimum okuma elde edilene kadar bu yükün uygulanmasına devam edilir. Bu işlemler test numunesinin su banyosundan çıkarılmasından sonraki 40 saniye içinde tamamlanmıştır.



Şekil 4.27 Marshall stabilite cihazı ve kırımı yapılmış briketler

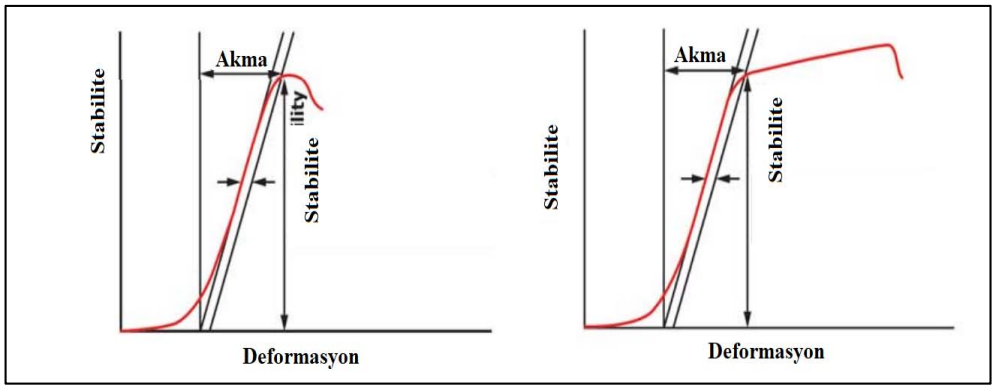


Şekil 4.28 Su banyosunda bekletilen briketler

Kırımı yapılan briketlerin Marshall cihazından grafiğe göre ve cihaz uygulamasından stabilite değerleri bulunmuştur (Şekil 4.28). Çizelge 4.13'te belirtilen briket yüksekliğine göre stabilite düzeltme katsayısı uygulanarak gerçek stabilite değerleri ve akma değerleri bulunmuştur (Şekil 4.29).

Çizelge 4.13 Marshall stabilite düzeltme katsayıları

Numune Hacmi cm^3	Numune Yüksekliği		Düzeltme Katsayısı
	in.	mm	
200 to 213	1.00 (1)	(25.4)	5.56
214 to 225	1.06 (1 1/16)	(27.0)	5.00
226 to 237	1.12 (1 1/8)	(28.6)	4.55
238 to 250	1.19 (1 3/16)	(30.2)	4.17
251 to 264	1.25 (1 1/4)	(31.8)	3.85
265 to 276	1.31 (1 5/16)	(33.3)	3.57
277 to 289	1.38 (1 3/8)	(34.9)	3.33
290 to 301	1.44 (1 7/16)	(36.5)	3.03
302 to 316	1.50 (1 1/2)	(38.1)	2.78
317 to 328	1.56 (1 9/16)	(39.7)	2.50
329 to 340	1.62 (1 5/8)	(41.3)	2.27
341 to 353	1.69 (1 11/16)	(42.9)	2.08
354 to 367	1.75 (1 3/4)	(44.4)	1.92
368 to 379	1.81 (1 13/16)	(46.0)	1.79
380 to 392	1.88 (1 7/8)	(47.6)	1.67
393 to 405	1.94 (1 15/16)	(49.2)	1.56
406 to 420	2.00 (2)	(50.8)	1.47
421 to 431	2.06 (2 1/16)	(52.4)	1.39
432 to 443	2.12 (2 1/8)	(54.0)	1.32
444 to 456	2.19 (2 3/16)	(55.6)	1.25
457 to 470	2.25 (2 1/4)	(57.2)	1.19
471 to 482	2.31 (2 5/16)	(58.7)	1.14
483 to 495	2.38 (2 3/8)	(60.3)	1.09
496 to 508	2.44 (2 7/16)	(61.9)	1.04
509 to 522	2.50 (2 1/2)	(63.5)	1.00
523 to 535	2.56 (2 9/16)	(65.1)	0.96
536 to 546	2.62 (2 5/8)	(66.7)	0.93
547 to 559	2.60 (2 11/16)	(68.3)	0.89
560 to 573	2.75 (2 3/4)	(69.8)	0.86
574 to 585	2.81 (2 13/16)	(71.4)	0.83
586 to 598	2.88 (2 7/8)	(73.0)	0.81
599 to 610	2.94 (2 15/16)	(74.6)	0.78
611 to 626	3.00 (3)	(76.2)	0.76



Şekil 4.29 Marshall stabilite ve akma grafikleri

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde, yapılan çalışmalara yönelik deney sonuçlarının ortaya konulması, karışımların birbirleri ile karşılaştırılması, mevcut şartname limitlerine göre değerlendirilmelerini içermektedir.

Çalışmada Gradasyon -1 olarak tasarlanan Bazalt-1 ve Kalker malzemelerinin aynı gradasyonda Marshall performansları aşağıda belirtildiği gibi bulunmuştur (Çizelge 5.1). Sonuçlara yönelik grafikler Ek-2 'de ayrıntılı olarak verilmiştir.

Çizelge 5.1 Gradasyon-1 Marshall performans sonuçları

	Wa	Vh	VMA	VFA	Dp	STABİLİTE	AKMA
	%	%	%	%	Gr/m^3	kN	mm
Bazalt-1	5,50	4,09	14,29	71,42	2,40	10,68	2,40
	6,00	3,57	14,81	75,89	2,40	10,08	2,53
	6,50	3,12	15,38	79,70	2,39	10,01	2,53
	7,00	3,13	16,33	80,82	2,38	9,96	3,10
Kalker	5,50	2,20	13,98	84,27	2,43	10,20	2,78
	6,00	2,42	15,15	84,00	2,41	8,21	3,13
	6,50	2,15	15,87	86,43	2,40	8,85	3,72
	7,00	1,91	16,59	88,48	2,39	8,50	4,11
	7,50	1,64	17,28	90,53	2,38	8,71	5,65

Çalışmanın iki aşaması olarak KTŞ limitleri baz alınarak alt limit gradasyonu olarak Gradasyon -2 tasarımı Bazalt-2 malzemesi ile oluşturulmuştur. Tasarlanan karışımın marshall performansları aşağıda verilmiştir (Çizelge 5.2). Karışıma ait performans grafikleri Ek-3 sunulmuştur.

Çizelge 5.2 Gradasyon-2 marshall performans sonuçları

	Wa	Vh	VMA	VFA	Dp	STABİLİTE	AKMA
	%	%	%	%	Gr/m3	kN	mm
Bazalt-2	5,50	10,91	20,28	46,21	2,16	10,60	4,61
	6,00	10,88	21,14	48,51	2,15	8,66	3,84
	6,50	9,71	20,97	53,71	2,16	9,42	3,30
	7,00	9,46	21,61	56,23	2,16	10,63	4,05

Şartname limitlerinde performansların görülmesi amacıyla Gradasyon -3 çalışması KTŞ üst limitleri baz alınarak Bazalt-2 malzemesi ile oluşturuldu. Bu tasarıma ait sonuçlar aşağıda verilmiştir (Çizelge 5.3). Karışıma ait performans grafikleri Ek-4 sunulmuştur.

Çizelge 5.3 Gradasyon-3 marshall performans sonuçları

	Wa	Vh	VMA	VFA	Dp	STABİLİTE	AKMA
	%	%	%	%	Gr/m3	kN	mm
Bazalt-2	5,50	6,04	16,00	62,22	2,28	17,23	3,86
	6,00	5,21	16,19	67,80	2,29	17,24	3,91
	6,50	4,59	16,56	72,30	2,29	15,98	3,78
	7,00	4,58	17,46	73,77	2,27	15,57	4,93

Çalışmada kaba malzeme gradasyonu KTŞ limitleri ortalaması alınarak ince malzeme KTŞ alt ve üst limitleri belirlenip hem Bazalt-2 hem de Kalker malzemesi ile %6,5 bitüm oranında bu farklı karışımların Marshall değerleri kaba malzemesi aynı gradasyonda Bazalt-2, ince malzemesi ise KTŞ limit ortalaması alınarak Bazalt-2 malzemesi alınarak tasarlanan karışıma göre değerlendirilmeleri aşağıda belirtilmiştir (Çizelge 5.4). Tabloda sadece ince malzemenin kaynağı ve dane boyutu No:4 ile No:200 elek aralığına göre değerlendirilmiştir. Gradasyon alt limitlerinde ki malzeme kaba malzeme olarak, üst limit olarak alınan malzeme ise ince malzemedir. Bu karışımlar için Grafik sunumu Ek-5 ‘de verilmiştir.

Çizelge 5.4 Gradasyon-4/5 marshall performans sonuçları

		Vh	VMA	VFA	Dp	STABİLİTE	AKMA
		%	%	%	gr/m3	kN	mm
Bazalt	Orta (Kontrol)	6,51	18,20	64,25	2,24	13,86	3,78
Kalker	Kaba	6,80	18,73	63,68	2,24	11,00	2,86
Bazalt	Kaba	10,24	21,52	52,40	2,15	11,39	3,58
Kalker	İnce	4,51	16,97	73,45	2,31	11,04	3,42
Bazalt	İnce	4,91	16,76	70,69	2,28	12,38	3,91

Taş mastik asfaltın asfalt beton aşınma tabakası ile Marshall performans kıyaslamalarında taş mastik için Gradasyon-1 tasarımda kalker malzemesi kullanılmıştır. Karşılaştırma için Dizayn-7 tasarımında kalker malzemesi ile Ulaştırma Bakanlığı Beton Asfalt Binder Ve Aşınma (Satıh) Tabakası Kaplama Teknik Şartnamesi Şartname No: 8-RV tablo-4 d sınıfı gradasyon limitlerinin ortalaması alınarak değerlendirilmiştir (Çizelge 5.5). Tasarımların maksimum dane büyüklüğü 12,5 mm ve nominal maksimum dane boyutu 12,5 mm olarak alınmıştır,

Çizelge 5.5 Gradasyon-7 marshall performans sonuçları

	Wa	Vh	VMA	VFA	Dp	STABİLİTE	AKMA
	%	%	%	%	Gr/m3	kN	mm
Yoğun Dereceli	4,50	4,03	13,63	70,43	2,4224	20,15	3,05
	5,00	3,56	14,21	74,93	2,4174	17,99	3,09
	5,50	2,85	14,57	80,42	2,4188	17,84	4,30
	6,00	2,72	15,42	82,35	2,4060	17,11	5,73
Taş Mastik	5,50	4,09	14,29	71,42	2,40	10,68	2,40
	6,00	3,57	14,81	75,89	2,40	10,08	2,53
	6,50	3,12	15,38	79,70	2,39	10,01	2,53
	7,00	3,13	16,33	80,82	2,38	9,96	3,10

Çalışma kapsamında aynı gradasyonda aynı bitüm içeriğinde (% 6,5) bazalt-2 ve Kalker malzemeleri ile yapılan tasarımda numunelerin yarısı (2 bazalt karışım,2 kalker karışım) bekleme yapılmadan Marshall tokmağı ile sıkıştırılmış diğer yarısı ise sıkıştırma sıcaklığında etüvde 60 dakika bounca kürlendikten sonra sıkıştırılmıştır. İki farklı

malzeme ile iki farklı işlemde sıkıştırılan numunelerin sonuçları aşağıda gösterilmiştir (Çizelge 5.6). Ayrıca grafik olarak ek -6 'da gösterilmiştir.

Çizelge 5.6 Kür durumuna göre marshall performans sonuçları

		Vh	VMA	VFA	Dp	STABİLİTE	AKMA
		%	%	%	gr/m3	kN	mm
Kalker	Kürlü	1,82	15,58	88,34	2,41	10,33	3,67
Kalker	Kürsüz	2,47	16,14	84,69	2,39	9,27	3,90
Bazalt	Kürlü	4,97	16,86	70,53	2,28	12,51	3,50
Bazalt	Kürsüz	6,51	18,20	64,25	2,24	13,86	3,78

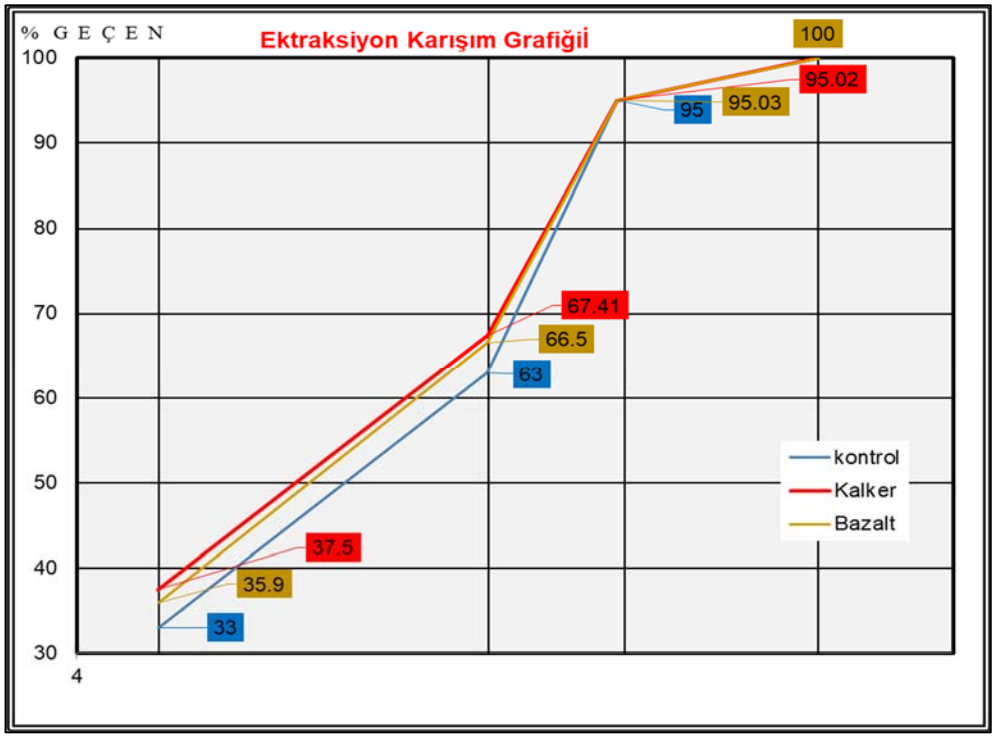
Numune sıkıştırma işleminin Marshall tokmağının darbesi ile yapılmasından dolayı Marshall tokmağının darbe etkisinde agregaların parçlanma durumlarını gözlemlemek amacıyla aynı gradasyonda aynı bitüm içeriğinde aynı darbe sayısında Bazalt-2 ve Kalker malzemelerinin durumları tespit edilmiştir. Darbe ile sıkıştırılan briketlerin ekstraksiyon sonucu No:4 elek üstü olarak bilinen kaba malzeme elek analizi yapılarak yeni gradasyon oluşturuldu (Şekil 5.1). Ayrıca Marshall tokmağı darbesi ile los Angeles parçalanma direnci arasındaki ilişki araştırılmıştır. Ekstraksiyon sonucu malzeme dağılımı aşağıda belirtilmiştir (Çizelge 5.7, Çizelge 5.8).

Çizelge 5.7 Ektraksiyon sonucu elekte kalan malzeme

inç	mm	Kontrol Numune	Kalker Num-1	Kalker Num-2	Kalker Ort	Bazalt Num-1	Bazalt Num-2	Bazalt Ort
3 / 4 "- 1 / 2"	19,0-12,5	57,5	57,3	57,2	57,3	57	57,4	57,2
1 / 2"- 3 / 8"	12,5-9,5	368	315,9	319,1	317,5	334,0	322,0	328,0
3 / 8"- No:4	9,5-4,75	345	341,7	346,0	343,9	346,0	358,0	352
No:45 Üstü Toplam Malz,		770	714,9	722,3	718,6	722,3	749,4	735,9

Çizelge 5.8 Ektraksiyon sonucu % geçen malzeme

inç	mm	Kontrol Numune	Kalker Num-1	Kalker Num-2	Kalker Ort	Bazalt Num-1	Bazalt Num-2	Bazalt Ort
3 / 4 ”	19 ,0	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
1 / 2”	12,5	95,00	95,02	95,03	95,02	95,04	95,01	95,03
3 / 8”	9,5	63,00	67,55	67,28	67,41	66,00	67,01	66,50
No:4	4,75	33,00	37,83	37,19	37,50	35,91	35,88	35,90



Şekil 5.1 Ekstraksiyon sonucu gradasyon

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması havalimanları pist esnek kaplamalarında taş mastik asfalt karışımlarının Marshall dizayn yöntemi ile stabilitesinin değerlendirmesini içermektedir.

Aynı gradasyonda; bazaltın kalker ile kıyaslanması neticesinde;

- Stabilite sonuçlarının daha iyi olduğu,
- Akma değerlerinin daha iyi olduğu,
- Mineral agregalar arası boşluk (VMA) değerlerinin her bitüm içeriğinde birbirlerine yakın olduğu,
- Asfaltın işgal ettiği boşluk oranın bazaltta aşınma tabakası için verilen limitler dahilinde kaldığı değerlendirilmiştir, Bu açıdan taş mastik asfalt malzeme seçiminde bazalt malzemesinin kullanımının doğru olduğu görülmüştür.

Şartname alt limitleri kullanıldığında yani karışımın daha kaba malzemelerden tasarlandığı durumda mineral agregalar arası boşluk (VMA) değerlerinin çok yüksek çıktığı akma değerlerinin limit dâhilinde kaldığı bununla birlikte kalan diğer tüm değerlerde tüm bitüm içeriklerinde limitlerin çok ötesinde olduğu bu durumda gradasyon seçiminde şartname alt limitlere yakın bir tasarım yapılmaması gerekmektedir.

Şartname üst limitleri kullanıldığında yani karışımın daha ince malzemelerden tasarlandığı durumda hava boşluğu değerinin limitlere çok yakın olduğu ancak limitler dahilinde olmadığı diğer tüm değerlerim limitler içerisinde kaldığı belirlenmiştir.

Kaba malzeme bazalt, gradasyon şartname limit ortalamasında, ince malzeme bazalt ve şartname limit ortalaması baz alınarak, ince malzeme bazalt ve kalker ince malzeme gradasyonu ise alt ve üst limit kullanılması durumuna göre ince malzemenin dane boyutunun daha ince olması hava boşluğunu azalttığı, bazalt ve kalkerin bu koşullarda aynı etkiyi gösterdiği, ince malzeme dane boyutunun daha büyük olması durumu daha fazla hava boşluğuna sebep olmuştur.

İnce malzemenin dane boyutunun büyümesi VMA'yı artırmıştır. Bazalt kalkere göre daha fazla VMA sağlamıştır. Dane boyutunun incelmesi VMA değerini düşürmektedir. Malzeme olarak kalker kullanıldığında ince malzeme olarak daha kaba malzeme hava boşluğunu artırdığı, daha ince malzemenin ise hava boşluğunu azaltmıştır.

İnce malzemenin dane boyutunun daha ince veya daha kalın olması Marshall stabilitesini yaklaşık %15 civarında düşürmektedir. İnce malzemenin dane boyutu daha büyük olan kalker malzeme akma değerlerini düşürmüştür. Diğer karışımlarda akma değerlerinde ciddi bir fark oluşmamıştır.

Şartname limitleri dışında kalan karışımlar sadece ince malzeme gradasyonunda yapılacak değişiklikler ile limit şartlarına uygun hale getirilebileceği görülmüştür.

Marshall dizaynında sıcak karışımın sıkıştırılmasında Marshall tokmağının kaba malzemeleri los Angeles parçalanma direncine paralel doğrultuda parçaladığı bu durumun karışım gradasyonunu değiştirmektedir. Marshall dizaynlarında gradasyon hazırlanırken bu durum göz önüne alınarak gradasyonların hazırlanması daha doğru olacaktır.

Havaalanı pistlerinin aşınma tabakası olarak taş mastik asfaltın kullanılması uygun bitüm yüzdesi ve uygun gradasyon kullanılması durumunda Marshall stabilite değerlerine göre uygun olduğu görülmektedir. Maksimum dane çapı ve nominal maksimum dane çapı aynı olmak koşuluyla mevcut asfalt betonu aşınma tabakası spesifikasyonları dahilinde kalker ile hazırlanan briketlerin Marshall stabilite sonuçları çalışma kapsamında yapılan tüm deney sonuçlarından yüksek çıkmıştır. Kalıcı deformasyonlara daha dirençli bir karışım olarak tasarlanan taş mastik asfalt stabilite değerlerinin daha düşük çıkması, karışımın darbe ile sıkıştırılmasının uygun olmadığı, stabilite için uygulanan yük eksenin agrega yapısına uygun olmadığı veya her iki durum birlikte bu sonuçlara sebep olmuştur.

KAYNAKLAR

Alp, B. 2018. Aşınma asfalt betonu ve taş mastik asfalt tekniğinin köprü uygulamalarında kullanılması ve karşılaştırılması.Yüksek Lisans Tezi. Bahçeşehir Üniversitesi, 139 sayfa, İstanbul.

Al-Qadi, I. L., Wang, H., Baek, J., Leng, Z., Doyen, M. and Gillen, S. 2012. Effects of curing time and reheating on performance of warm stone-matrix asphalt. J.Mater. Cıv. Eng., 24(11), 1422–1428.

Alshamsi, K. S. 2006. Development of a mix design methodology for asphalt mixtures with analytically formulated aggregate structures. Doctoral Dissertations, Louisiana State University, 227 pages, Birmingham.

Arslan, F. 2014. Taş mastik asfalt karışımlarda İstanbul çevresindeki Cebeci-Dolamitli kireçtaşı, Gölcük - kumtaşı ve Karatepe - bazaltı kullanımının incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, 273 sayfa, İstanbul.

Asfaw, T. N. 2008. Laboratory performance evaluatıon of SMA mıxtures ın Oklahoma. Master of Science Thesis, Addis Ababa University, 63 pages, Addis.

Asi, M. I., 2006. Laboratory comparison study for the use of stone matrix asphalt in hot weather climates, Construction and Building Materials, 20(10): 982–989.

Aslan, İ. 2020. Taş mastik asfalt kaplamalarda doğal kenevir lifinin selülozik fiber yerine kullanılabilirliğinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Yozgat Bozok Üniversitesi, 73 sayfa, Yozgat.

Aslan, M. 2018. Mastik asfalt üretiminde pomza, perlit ve ahlat taşı agregasının kullanılabilirliği. Yüksek Lisans Tezi, Bitlis Eren Üniversitesi ve Dicle Üniversitesi, 123 sayfa, Bitlis.

ASPHALT IN FIGURES, 2020. Web sitesi, https://eapa.org/ Erişim Tarihi: 25.04.2022.

Asphalt Institute MS-2. 2014. Asphalt mix design methods. In: Abdulhaq Hadi Abedali (eds), Seventh edition of manual series-2, pp. 65–76, Kentucky.

Bağdatlı, M. 2010. Esnek Üstyapı Kaplamalarındakġ Hasar Özelliklerinin Bakım Maliyetleri Üzerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi, 82 sayfa, Tekirdağ.

Blazejowski, K. 2011. Stone Matrix Asphalt "Theory and Practice", Second Edition, Taylor and Francis Group, 343 pages, New York.

Brown, E. R., Haddock, J. E., Mallick, R. B. And Lynn, T. A. 1997. Development of a mıxture desıgn procedure for stone matrıx asphalt (SMA). NCAT Report, 34 pages, Alabama.

Cao, W., Liu, S. and Feng, Z. 2013. Comparison of performance of stone matrix asphalt mixtures using basalt and limestone aggregates. Construction and Building Materials 41: 474–479.

Çevrim, K. 2021. Taş mastik asfalt karışımlarda katkı maddesi olarak deniz kabuğunun gradasyon ve katılma yöntemi açısından araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, 102 sayfa, Trabzon.

Hainin, R., Reshi, W. F., Niroumand, H. 2012. The Importance of Stone Mastic Asphalt in Construction, EJGE., 17:49-56.

Ismael, N. 2020. Modifiye taş mastik asfaltın normal aşınma tabakasına göre performansının incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Aksaray Üniversitesi, 90 sayfa, Aksaray.

İzol, E. 2020. Taş mastik asfalt yapımında mineral filler olarak mermer tozunun kullanılması. Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi, 106 sayfa, Şanlıurfa.

James, G. S. 2016. Introduction to enhanced recovery methods for heavy oil and tar sands. Gulf Professional Publishing, 539 pages, USA.

Jamieson, S. and White, G. 2019. Stone mastic asphalt as an ungrooved runway surface for Australian airports. 18th AAPA International Flexible Pavements Conference, pp. 19-20, Sydney.

Jamieson, S. and White, G. 2021. Laboratory Evaluation of the Performance of Stone Mastic Asphalt as an Ungrooved Runway Surface. Materials 14(3): 502.

Jia, X., Huang, B., Chen S. and Shi, D. 2016. Comparative ınvestigation ınto field performance of steel bridge deck asphalt overlay systems. KSCE Journal of Civil Engineering, 20(7): 2755-2764.

Jiang, Y., Zhang, Y., Xue, J., Deng, C. and Tian, T. 2020. Performance of Stone Mastic Asphalt Mixtures Fabricated by Different Compaction Methods. Applied Sciences, 10(7): 2523.

Kamaluddın, N. 2008. Evaluatıon Of Stone Mastıc Asphalt Usıng Palm Oıl Fuel Ash As Fıller Materıal. PhD Thesis, Universiti Teknologi Malaysia, 131 pages, Johor Bahru.

Kara, H. 2021. Taş mastik asfalt ve beton yol kaplama inşasında bor atıklarının kullanılabilirliği. Yüksek Lisans Tezi, Bitlis Eren Üniversitesi ve Dicle Üniversitesi, 123 sayfa, Bitlis.

Kulhar, K. S., and Bhatt, H. (2021). Laboratory investigation review of stone matrix asphalt. Elementary Education Online, 20 (2): 1066-1080.

Kuloğlu, N., Kök, B. ve Durmaz, B. 2006. Beton asfaltın farklı türden temeller üzerindeki serbest basınç mukavemet değerinin değişimi. Fırat Üniv, Fen ve Müh. Bil. Der., 18 (1): 91-97.

Lavin, P. 2003. Asphalt Pavements: A Practical Guide to Design, Production and Maintenance for Engineers and Architects, CRC Press, 423 pages, London.

Liu, Y., Huang, Y., Sun, W., Nair, H., Lane D. S. and Wang, L. 2017. Effect of coarse aggregate morphology on the mechanical properties of stone matrix asphalt. Construction and Building Materials, 152: 48-56.

Luque, A. F. E., 2018. Laboratory assessment of asphalt concrete durability utilizing balance mix design. Master Thesıs, University of Illinois, 85 pages, Illinois.

Okur, F. 2008. Havaalanı Üstyapı Tasarım Yöntemler. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 99 sayfa, İstanbul.

Özbilgin, S. 2010. Rijit Ve Esnek Hava Alanı Üstyapılarının Teknik Ve Ekonomik Karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 392 sayfa, İstanbul.

Özuğurlu, B. 2015. Karayolu esnek üstyapı binder tabakasında elektrik ark ocağı cürufunun yapay agrega olarak kullanımının incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 153 sayfa, İstanbul.

Prowell, D., Watson, D. E., Hurley, G. C. and Brown, E. R. 2010. Evaluatıon of Stone Matrıx Asphalt (SMA) for Aırfield Pavements. 2010 FAA Worldwide Airport Technology Transfer Conference Federal Aviation Administration American Association of Airport Executives.

Saedi, S. 2019. Polimerik Katkıların (Frp, Viatop Premium Ve Sbs) Taş Mastik Asfalt Kaplamaların Mekanik Özellikleri Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi,186 sayfa, Trabzon.

Sarang, G., Mehnaz E and Ravi Shankar, A. U. 2014. Comparison of Stone Matrix Asphalt Mixtures Prepared inMarshall Compaction and Gyratory Compactor. International Journal of Civil Engineering Research, 5(3): 233–240.

Sarang, G., Lekha, B. M., Geethu, J. S., Shankar, A. U. 2015. Laboratory performance of stone matrix asphalt mixtures with two aggregate gradations. Jurnal of Modern Transportatin, 23(2):130–136.

Sultani, K. 2021. Polipropilen Pirolizi Kullanılarak Yapılan Taş Mastik Asfalt Karışımların Marshall Özellikleri. Yüksek Lisans Tezi, Konya Teknik Üniversitesi, 118 sayfa, Konya.

Şanlıer, İ. 2018. Kuzey Marmara Otoyolu projesi kapsamında taş mastik asfalt (TMA) uygulamaları, performanslarının karşılaştırılması ve maliyet analizi. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, 156 sayfa, Sakarya

Tashmana, L. and Pearsonb, B. 2012. Characterisation of stone matrix asphalt mixtures. International Journal of Pavement Engineering, 13(4): 297–309

Tayfur, S. 2001. Taş Mastik Asfalt Kaplamalar için Uygun Karışımın Araştırılması ve Bit Hizmet Ömrü Modeli Geliştirilmesi. Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, 236 sayfa, İstanbul

White, G. 2017. Developing a Performance Specification for Airport Asphalt. 17th AAPA International Flexible Pavements Conference.

White,G. 2018. State of the art: Asphalt for airport pavement surfacing. International Journal of Pavement Research and Technology, 1181): 77-98.

EKLER

EK 1. Taş mastik asfalt gradasyonları

EK 2. TMA dizayn-1 grafikleri

EK 3. TMA dizayn-2 grafikleri

EK 4. TMA dizayn-3 grafikleri

EK 5. TMA dizayn-4/5 değerleri

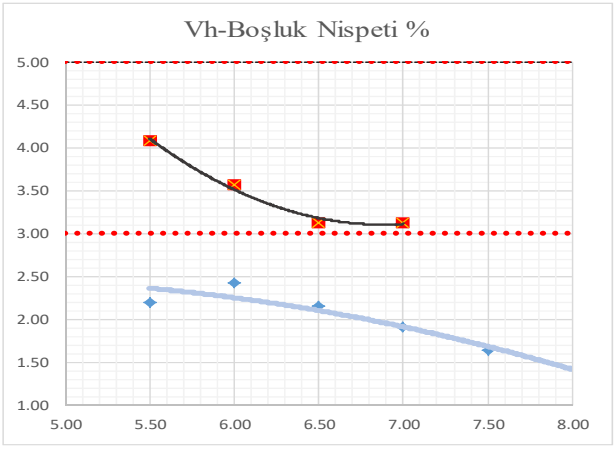
EK 6. TMA dizayn-6 değerleri

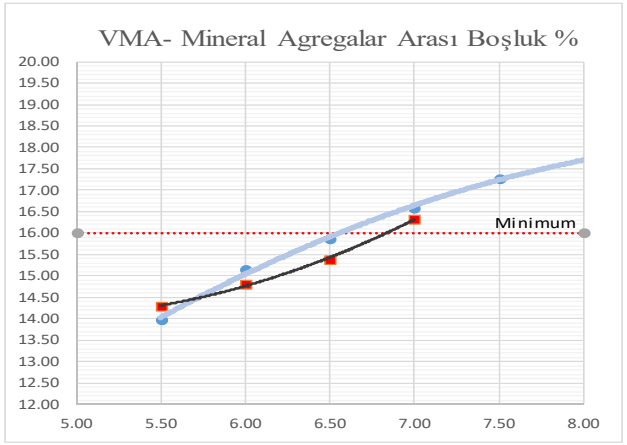
EK 7. TMA dizayn-7 grafikleri

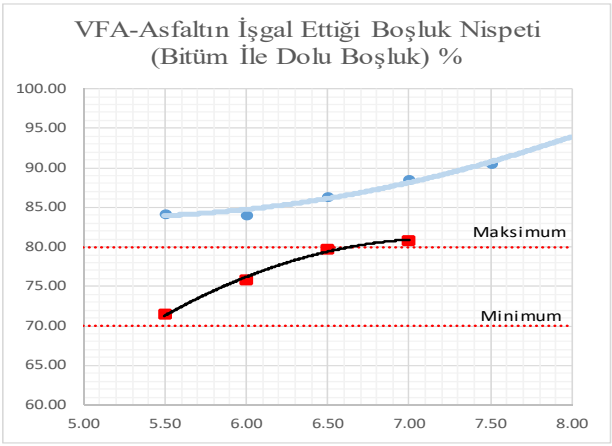
EK 1. Taş mastik asfalt gradasyonları

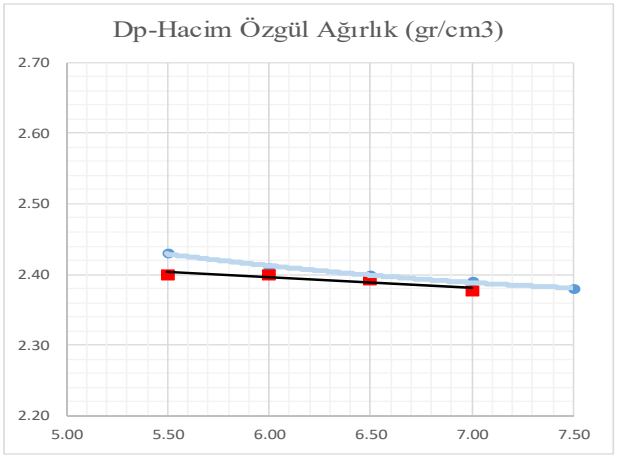
Havaalanı	Almanya		İtalya		Çin		Hindistan		Birleşik Tesisler		AASHTO		Ortalama	
Elek Boyutu mm	% Geçen													
	Alt Limit	Üst Limit	Alt Limit	Üst Limit	Alt Limit	Üst Limit	Alt Limit	Üst Limit	Alt Limit	Üst Limit	Alt Limit	Üst Limit	Alt Limit	Üst Limit
19	100	100	96	100	100	100	100	100	100	100	100	100	96	100
12,5	93	100	70	89	82	94	90	99	90	100	90	100	70	100
9,5		80			45	65	50	85	50	85	50	80	45	85
4,75	29	39	29	43	22	34	20	40	20	40	20	35	20	43
2,36	22	29	22	30	18	27	16	28	16	20	16	24	16	30
1,18					14	22							14	22
0,600	14	19	13	19	12	19							12	19
0,300			10	16	10	16							10	16
0,150			9	14	9	14							9	14
0,075	8,7	12,6	7	13	8	12	8	11	8	11	8	11	7	13

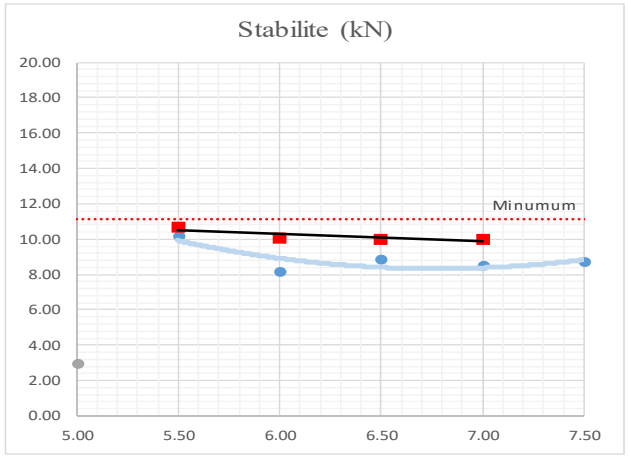
EK 2. TMA Dizayn-1 grafikleri

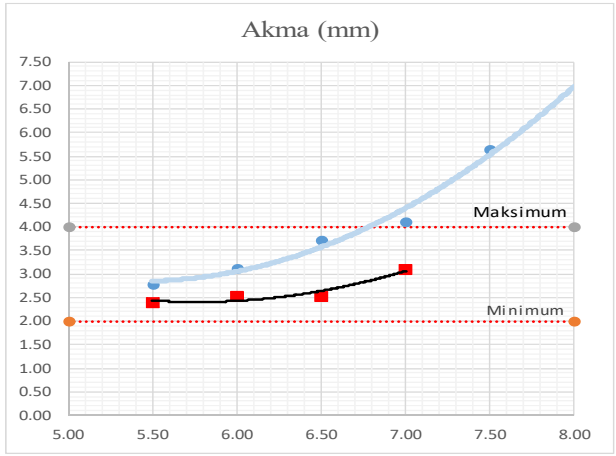








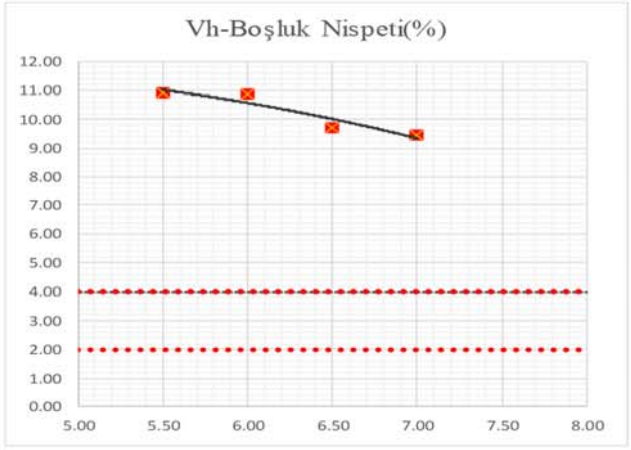


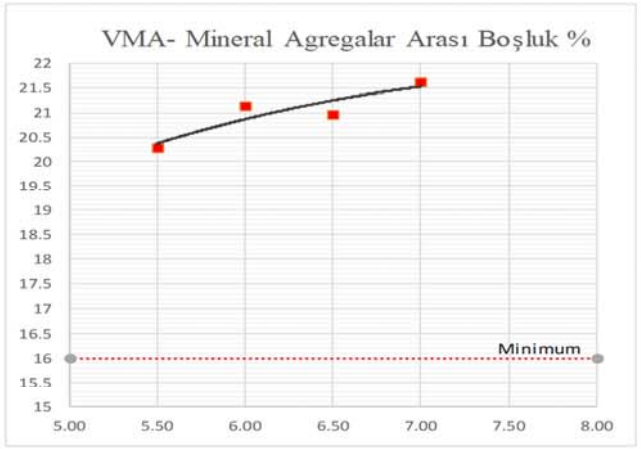


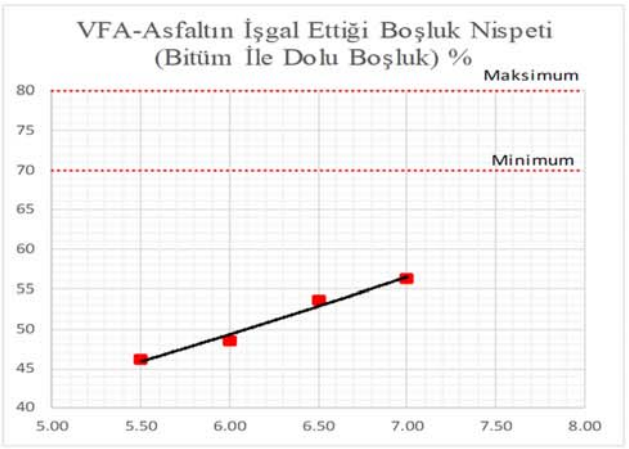
Stabilite ve akma maksimum ve minimum değerleri asfalt betonu değerleri alınmıştır.

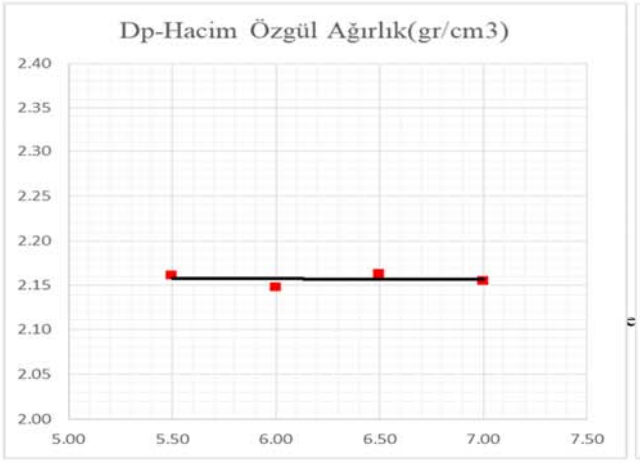
Kalker
Bazalt

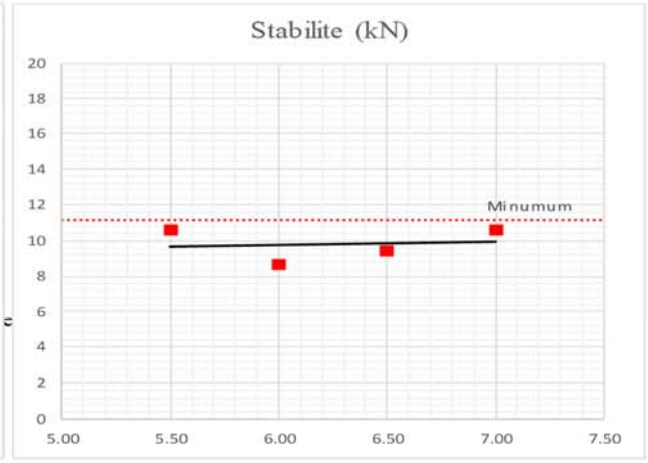
EK 3. TMA Dizayn-2 grafikleri

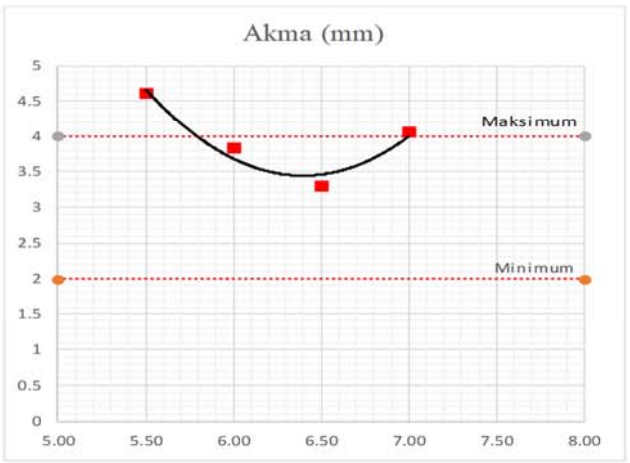






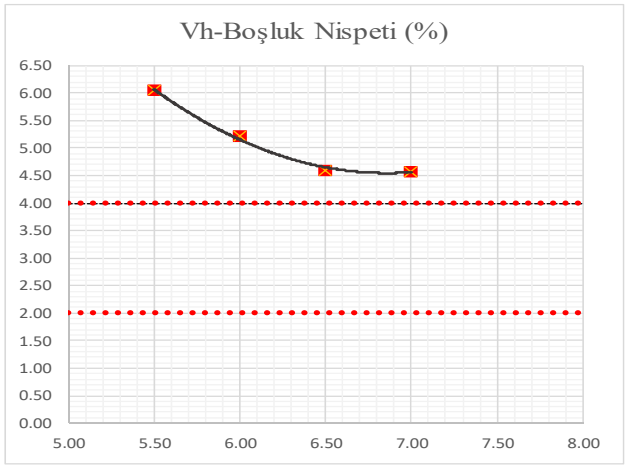


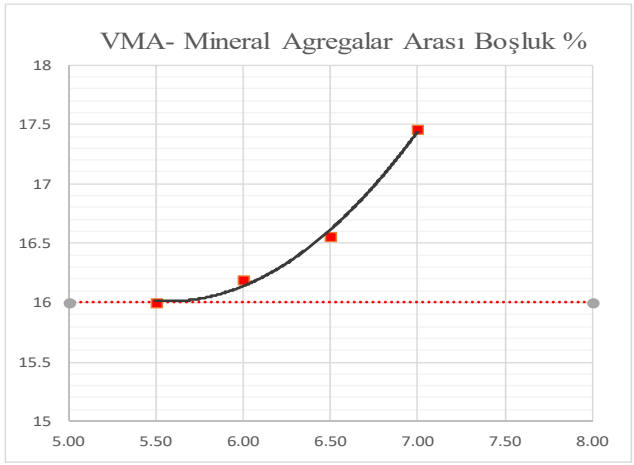


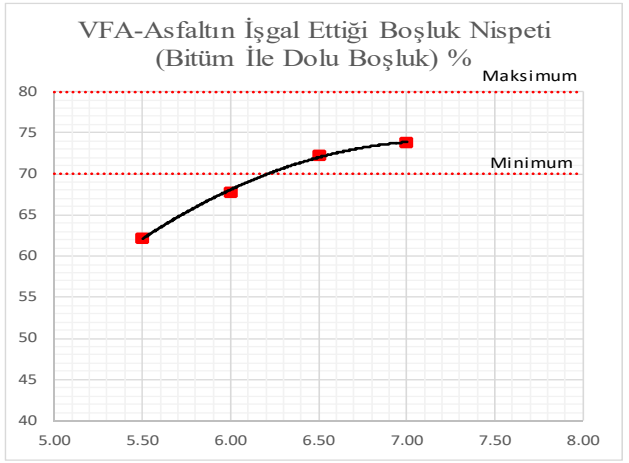


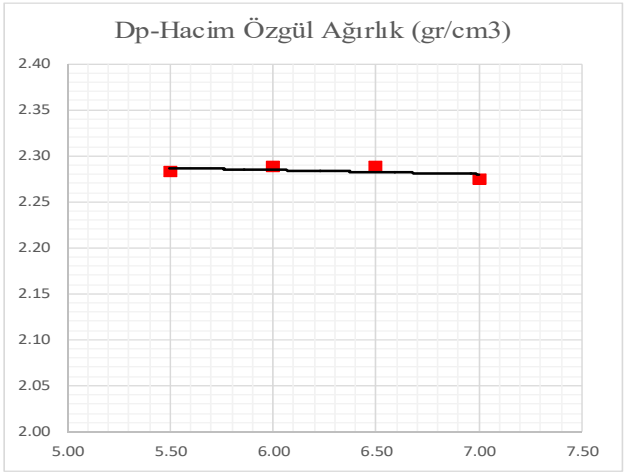
Stabilite ve akma maksimum ve minimum değerleri asfalt betonu değerleri alınmıştır.

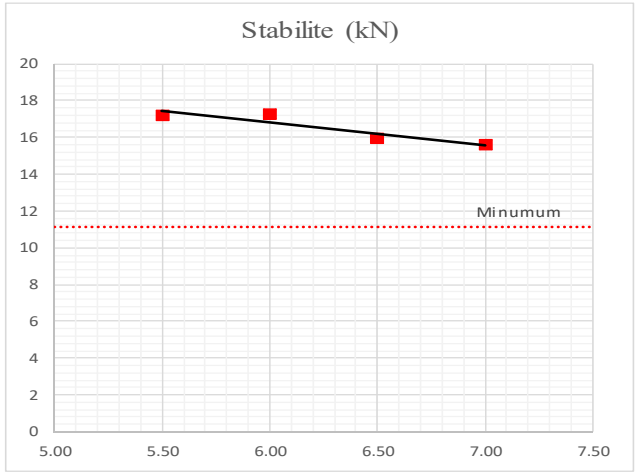
EK 4. TMA Dizayn-3 grafikleri

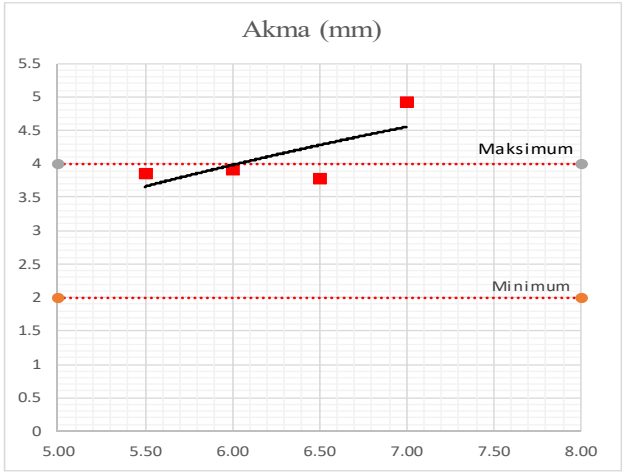






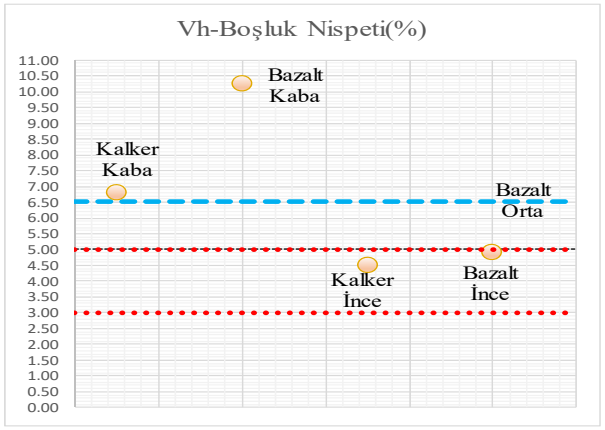


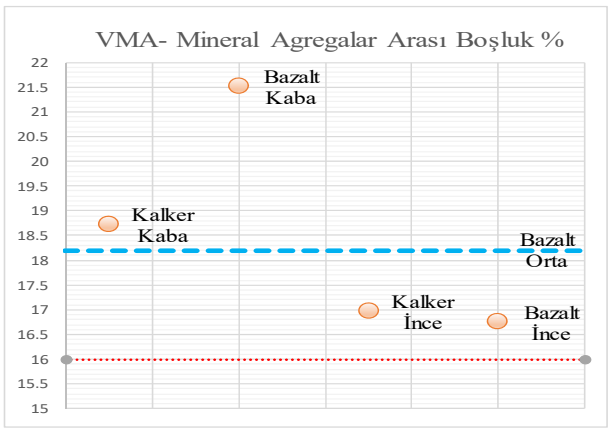


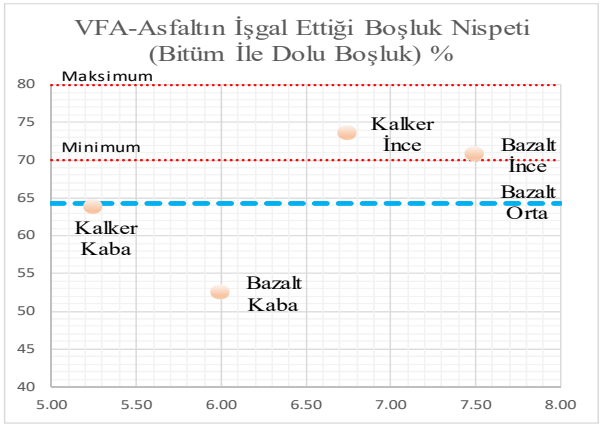


Stabilite ve akma maksimum ve minimum değerleri asfalt betonu değerleri alınmıştır.

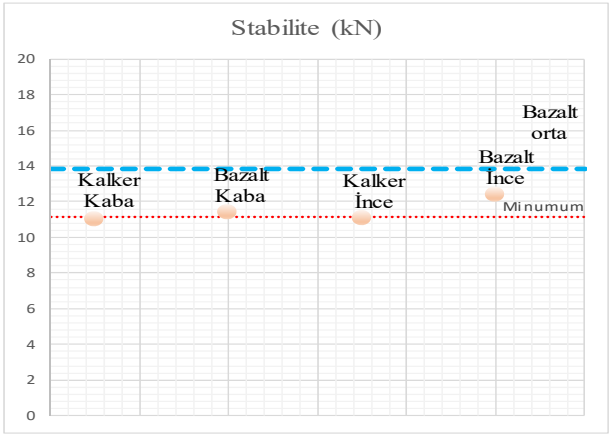
EK 5. TMA Dizayn-4/5 değerleri

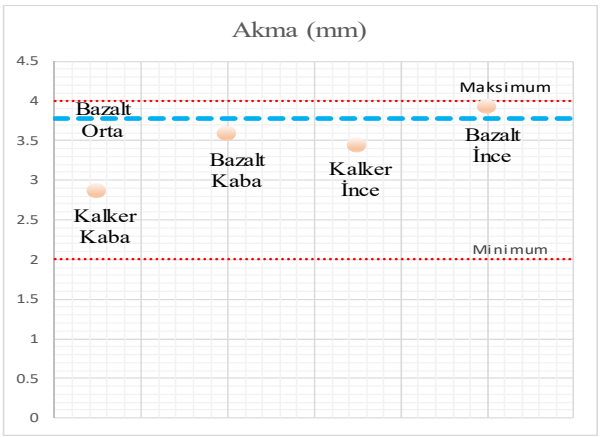






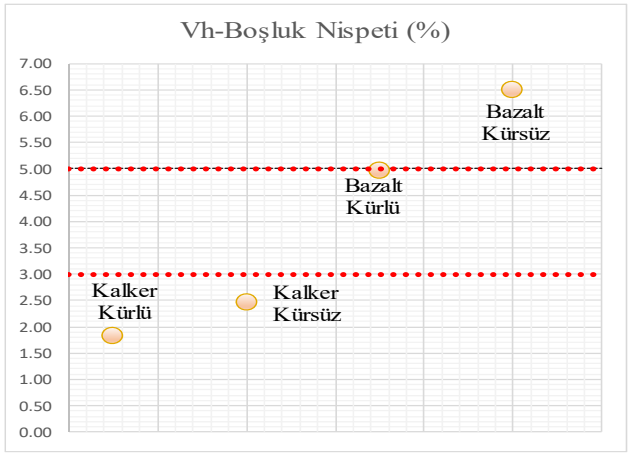


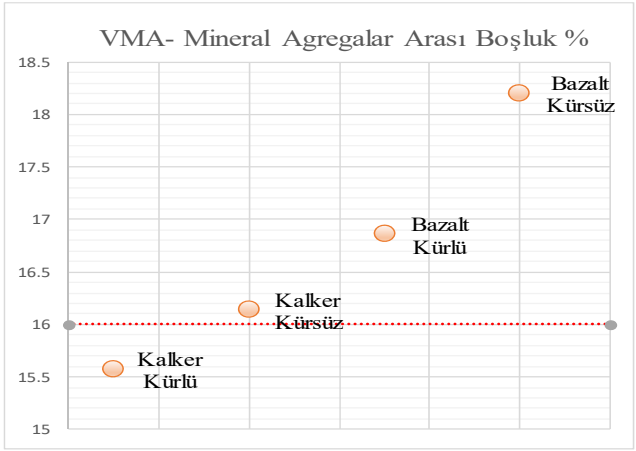


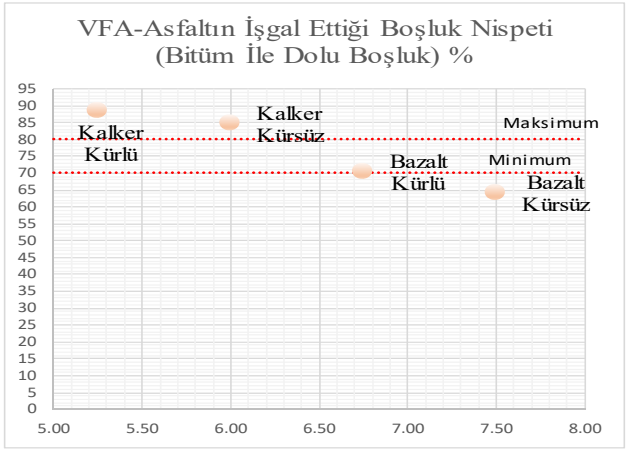


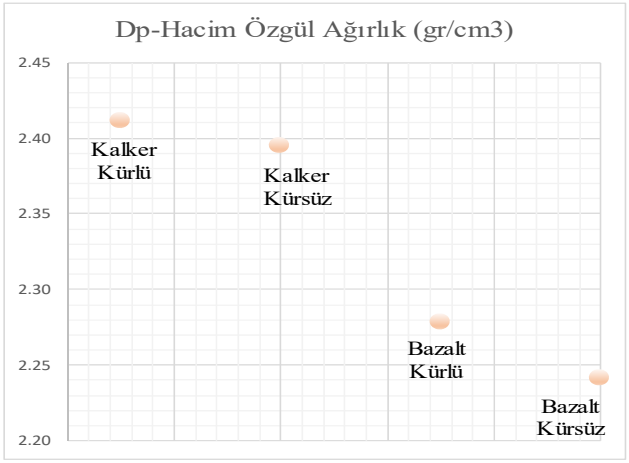
Stabilite ve akma maksimum ve minimum değerleri asfalt betonu değerleri alınmıştır.
Kaba dizayn-4 gradasyonudur
İnce dizayn-5 gradasyonudur

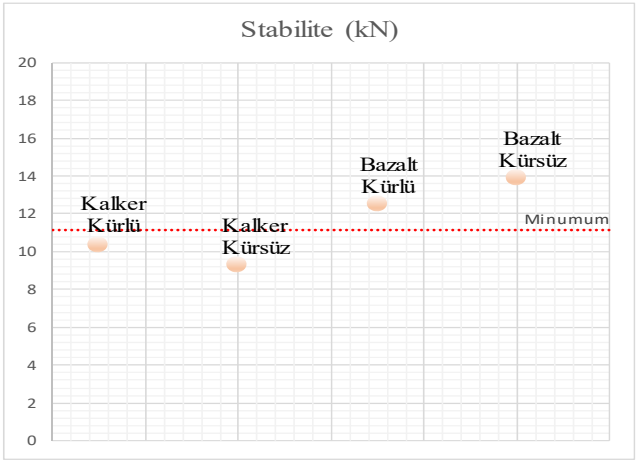
EK 6. TMA Dizayn-6 değerleri

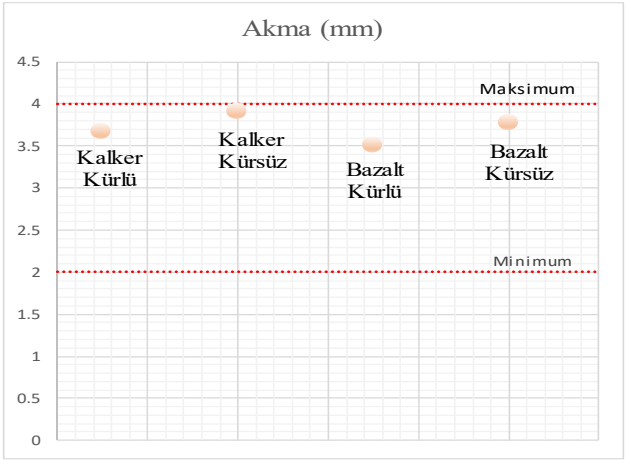






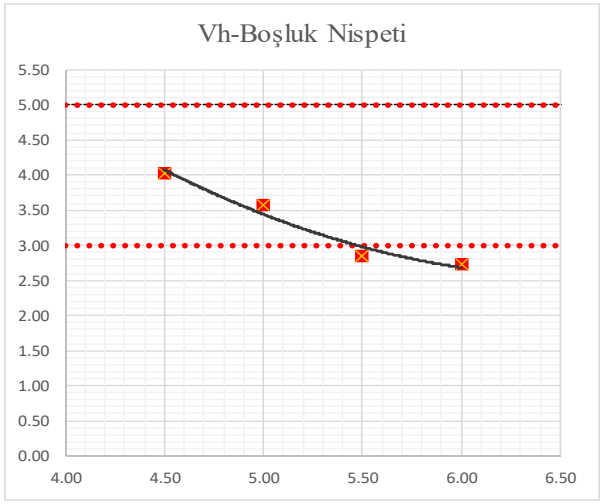


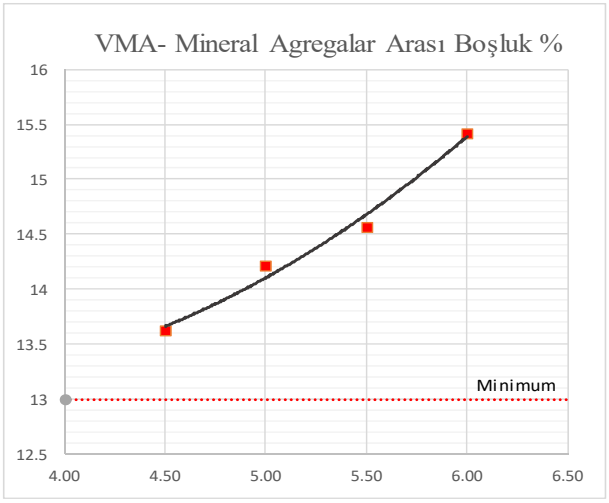


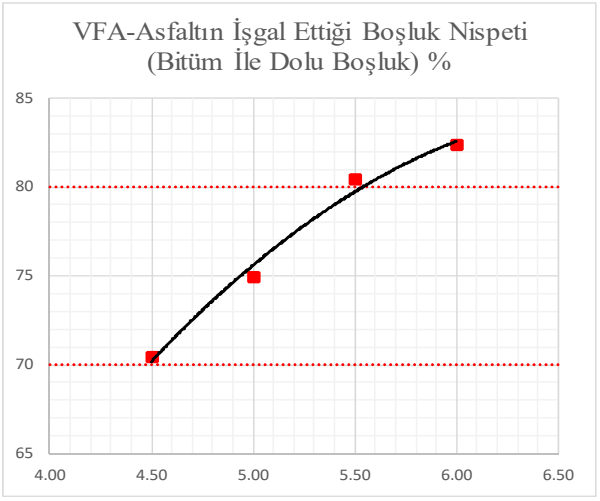


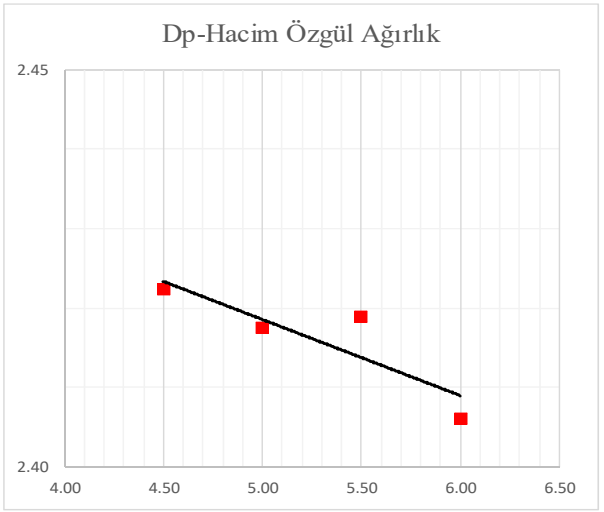
Stabilite ve akma maksimum ve minimum değerleri asfalt betonu değerleri alınmıştır.

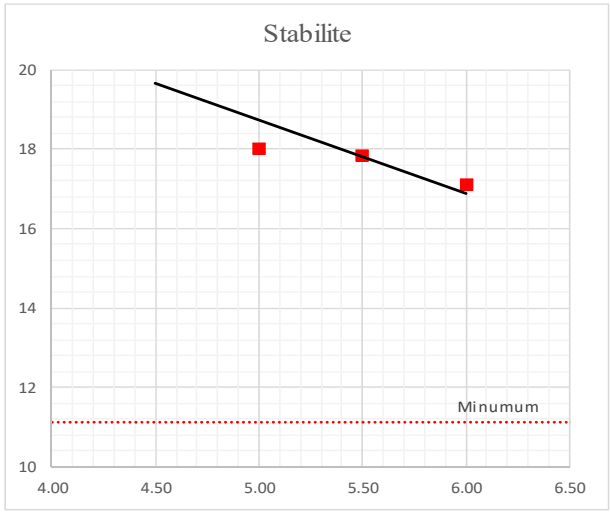
EK 7. TMA Dizayn-7 grafikleri

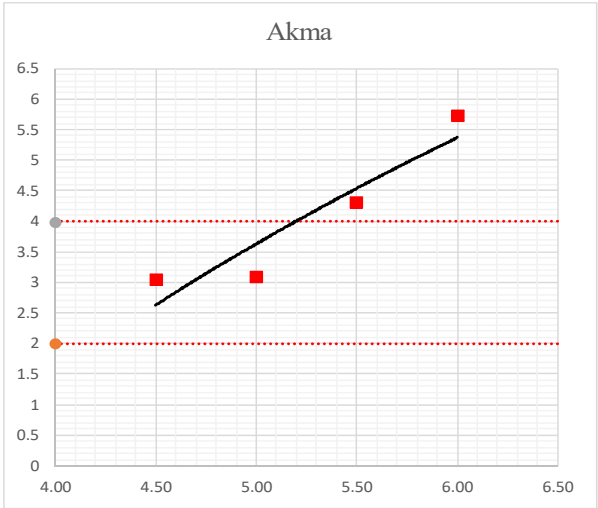












ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı ve Soyadı : Ahmet UMUTLU

Eğitim

Yüksek Lisans	Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı	2020-Halen
Lisans	Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü	1999-2008

İş Deneyimi

Yıl	**Kurum**	**Görev**
2012-Halen	UAB	İnşaat Mühendisi